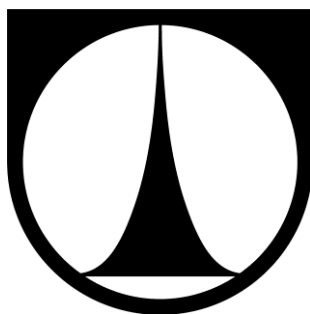


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



Fakulta textilní

**TEPELNĚ IZOLAČNÍ VLASTNOSTI TEXTILNÍCH
MATERIÁLŮ A STRUKTUR**

Bakalářská práce

Věra Šůrková

LIBEREC 2014

**TEPELNĚ IZOLAČNÍ VLASTNOSTI TEXTILNÍCH
MATERIÁLŮ A STRUKTUR**

**THERMAL INSULATION PROPERTIES OF TEXTILE
MATERIALS AND STRUCTURES**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

STUDIJNÍ PROGRAM: B3107 TEXTIL

STUDIJNÍ OBOR: TECHNOLOGIE A ŘÍZENÍ ODĚVNÍ VÝROBY

Autor práce: Věra Šůrková

Vedoucí práce: doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.

POČET STRAN TEXTU	87
POČET OBRÁZKŮ	38
POČET TABULEK	34
POČET ROVNIC	39

LIBEREC 2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Věra Šůrková**
Osobní číslo: **T09000206**
Studijní program: **B3107 Textil**
Studijní obor: **Technologie a řízení oděvní výroby**
Název tématu: **Tepelně izolační vlastnosti textilních materiálů a struktur**
Zadávací katedra: **Katedra oděvnictví**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte literární průzkum zaměřený na principy měření a predikce tepelné vodivosti textilií a metody jejího měření.
2. Stanovte základní parametry textilií, které určují tepelně izolační vlastnosti, tepelnou vodivost a vyberte vzorky vhodné pro porovnání izolačních vlastností vláknenných roun.
3. Navrhněte a realizujte experiment pro komplexní porovnání tepelné vodivosti zjištěné na vybraných přístrojích.
4. Proveďte komplexní statistickou analýzu dat a porovnejte výsledky s jednoduchou predikcí využívající výpočet celkových tepelně izolačních vlastností a tepelných toků pro aplikace např. spacák, zimní bunda, přikrývka.
5. Porovnejte jednotlivé přístroje z hlediska přesnosti a vlivu stlačení na realizaci měření.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- Song, G. Ed.: Improving comfort in clothing, Woodhead Publishing, Cambridge 2011
- Křemenáková D., Mishra R., Militký J. and Šesták J. eds.: Selected topics of textile and material science, Publishing House of WBU, Pilsen 2011, kap. 28
- Stark C., Fricke J.: Improved heat transfer models for fibrous insulations, Int. J. Heat Mass Transfer, 36, No. 3, pp. 617 -626, 1993, ISSN 0017-9310
- Saville B. P.: Physical testing of textiles, Woodhead Publishing, Cambridge 2011

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
Katedra oděvnictví

Datum zadání bakalářské práce: 1. listopadu 2012

Termín odevzdání bakalářské práce: 27. května 2013

Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka



doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 1. listopadu 2012

Technická univerzita v Liberci
Doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.
Katedra oděvnictví, FT
Studentská 2
461 17 Liberec

ŽÁDOST

Žádám o prodloužení termínu odevzdání diplomové (bakalářské) práce do ledna 2014

Název diplomové (bakalářské) práce: Tepelně izolační vlastnosti textilních materiálů a struktur

Jméno vedoucího diplomové (bakalářské) práce: Doc. Ing. Antonín Havelka, CSc.

Jméno, příjmení a adresa žadatele: Věra Šurková, Polní 697, 696 21 Prušánky

Podpis žadatele:

Datum podání žádosti: 30.4.2013

Vyjádření vedoucího práce:



Sontalová

Vyjádření vedoucího katedry:



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ
Katedra oděvnictví

19.5.2013

PROHLÁŠENÍ

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

V Liberci dne 2. 12. 2013

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych touto cestou poděkovat všem, kteří mi poskytli cenné rady při psaní této práce.

Mé poděkování patří zejména doc. Ing. Antonínu Havelkovi, CSc. za jeho odborné vedení, cenné rady a vstřícný přístup, což mi bylo velkou pomocí po celou dobu psaní této práce.

V neposlední řadě chci poděkovat také své rodině a nejbližším za jejich podporu po celou dobu studia.

ANOTACE

Předmětem této bakalářské práce je měření tepelně izolačních vlastností textilních materiálů používaných pro výplně statickou a dynamickou metodou měření.

Teoretická část práce vysvětluje pojmy spojené s tepelně izolačními vlastnostmi látek a materiálů. Zabývá se pojmy jako teplo, tepelná vodivost, mechanismy přenosu tepla, způsoby zjišťování tepelně izolačních vlastností a přístroji používanými k jejich měření. Popisuje také pojmy spojené s fyziologickými vlastnostmi oděvů a textilií při užívání člověkem.

Experimentální část práce je zaměřena na vlastní měření vzorků na vybraných typech přístrojů a vyhodnocení naměřených dat.

Cílem práce je vyhodnocení naměřených hodnot statickou a dynamickou metodou, jejich vzájemné porovnání vzhledem k typu výplně a zjištění vlivu stlačení na tyto vlastnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Tepelná vodivost, tepelný odpor, C-Therm Tci, FOX304 instrument

ANNOTATION

The subject of this bachelor thesis is to measure the thermal insulation properties of textile materials used for fillings, with static and dynamic methods of measurement.

The theoretical part explains the concepts associated with thermal insulating properties of substances and materials. It deals with concepts such as heat, thermal conductivity, heat transfer mechanisms, methods of detecting thermal insulation properties of and device used to measure them. It also describes the concepts associated with the physiological properties of clothing and textiles in use by man.

The experimental part of the work is focused on the measurement of samples per instrument types and data evaluation.

The aim is to evaluate the measured values of with static and dynamic methods, their comparison with respect to the type of fill and determine the effect of compression on these properties.

KEYWORDS

Thermal conductivity, thermal resistance, C-Therm Tci, FOX304 instrument

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

λ	měrná tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
b	tepelná jímavost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{1/2}$]
R	tepelný odpor [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]
q	tepelný tok [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
d	tloušťka vzorku [m]
R_c	tepelný odpor [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]
α	měrná tepelná vodivost [m^2/s],
k	nepřímá tepelná vodivost [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$]
C_p	měrná tepelná kapacita [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$]
Δi	měrné výparné skupenské teplo [J]
e	tepelná efusivita [$\text{Ws}^{1/2}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
U_1	tepelná vodivost na spodní desce [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
U_2	tepelná propustnost vzorku [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
R'	teplotní odpor [$\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}$]

OBSAH

1	TEPLO.....	14
1.1	Celsiova a Fahrenheitova stupnice	14
1.2	Měrná tepelná kapacita, Molární tepelná kapacita.....	15
1.3	Jednotky vyjádření tepla.....	16
2	MECHANISMY PŘENOSU TEPLA.....	17
2.1	Přenos tepla vedením	17
2.1.1	Fourierův zákon	18
2.1.2	Tepelná vodivost	18
2.1.3	Teplovní vodivost	20
2.1.4	Tepelná jímavost.....	20
2.2	Přenos tepla prouděním	21
2.3	Přenos tepla zářením	21
2.4	Tepelný izolant	21
2.5	Tepelný odpor	22
3	ZPŮSOBY MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI	23
3.1	Statické metody měření tepelné vodivosti.....	23
3.1.1	Deskový přístroj podle Poensgena	24
3.1.2	Deskový přístroj podle Bocka	25
3.1.3	Válcový přístroj podle Van Rinsuma	26
3.1.4	Kulový přístroj podle Nusselta	27
3.1.5	Přístroj pro měření tepelné vodivosti Togmeter.....	27
3.1.6	Přístroj pro měření tepelné vodivosti FOX304 instrument.....	31
3.2	Dynamické metody měření tepelné vodivosti	33
3.2.1	Měření tepelné vodivosti podle Fitchovy metody	34
3.2.2	Měření na přístroji Alambeta.....	35
3.2.3	Thermal Conductivity Analyser – Model C-Therm TCi.....	36
4	FYZIOLOGICKÉ VLASTNOSTI ODĚVŮ PŘI UŽÍVÁNÍ ČLOVĚKEM	39
4.1	Komfort.....	39
4.2	Optimální podmínky komfortu.....	39
4.3	Rozdělení komfortu.....	40
4.4	Termoregulace organismu.....	41
4.5	Transport tepla, vlhkosti a vzduchu soustavou člověk – oděv – prostředí	43
4.6	Sdílení tepla mezi organismem a okolím	44
4.6.1	Sdílení tepla sáláním.....	45
4.6.2	Sdílení tepla vedením (kondukcí).....	45
4.6.3	Sdílení tepla prouděním (konvekce)	46
4.6.4	Sdílení tepla odpařováním (evaporace)	46
4.6.5	Sdílení tepla dýcháním (respirace)	47
4.7	Odvod vlhkosti z povrchu lidského těla.....	47
5	HODNOCENÍ FYZIOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ	49
5.1	Propustnost vodních par	49
5.2	Propustnost vzduchu – prodyšnost.....	50

5.3	Prostup tepla	52
5.4	Propustnost vody	52
5.5	Kombinované metody stanovení prostupu médií textiliemi	53
5.6	Měření tloušťky	54
6	VÝPLŇOVÉ MATERIÁLY	56
6.1	Výplně z přírodních materiálů	57
6.1.1	Peří	57
6.2	Výplně ze syntetických materiálů	58
6.2.1	Polyesterová vlákna HCS	60
6.2.2	Polyesterové vlákenné rouno Dreamfil®	61
6.2.3	Termicky spojené rouno 3M™ Thinsulate®	62
6.2.4	Termicky spojené rouno Tercie	64
7	MĚŘENÍ TEPELNÝCH VLASTNOSTÍ	65
7.1	Měření na přístroji C-Therm TCi	67
7.1.1	Výsledky naměřených hodnot – C-Therm TCi	68
7.2	Měření na přístroji FOX304 instrument	83
7.2.1	Výsledky naměřených hodnot - FOX304 instrument	84
7.3	Analýza naměřených hodnot	92
8	ZÁVĚR	97
	SEZNAM OBRÁZKŮ	101
	SEZNAM TABULEK	103
	SEZNAM ROVNIC	105

ÚVOD

V současné době se na trhu s textilními výrobky může každý z nás setkat s nabídkou širokého spektra výrobků. Všechny skupiny výrobků, které v sobě mají pro dosažení určitých vlastností, zakomponovanou výplň, dnes nabízí mnoho možností výběru. Někdy se zdá, že je trh přesycen stejnými výrobky, jindy zase hledáme něco nového, co prozatím není na trhu dostupné. Stejně tak jako výrobci produktů s výplněmi z přírodních materiálů přesvědčují zákazníky o tom, že pouze jejich výrobky jsou ty nejlepší a dosahují nejlepších vlastností v každých podmínkách, jsou na tom shodně i výrobci produktů s výplní syntetickou. Výhodou výrobců, kteří používají syntetické výplně, však je, že jim technické možnosti a vývoj v této oblasti zajišťuje stále nové materiály.

Bez rozdílu zda se jedná o spacák, zimní bundu, teplou přikrývku pro zimní nebo celoroční období, vždy od výrobku očekáváme ty nejlepší vlastnosti, ke kterým u těchto typů patří především hřejivost, lehkost a snadná údržba. Výrobek má plnit především tepelně izolační funkci, z toho důvodu by výplně měly mít dostatečné tepelně izolační vlastnosti. Tepelně izolační vlastnosti tedy mají podstatný vliv na funkčnost vybraného typu výrobku a na fyziologický komfort člověka při jeho užívání. Tepelně izolační vlastnosti se nejčastěji hodnotí pomocí koeficientu tepelné vodivosti a tepelným odporem. Zatímco tepelná vodivost představuje fyzikální vlastnost představující schopnost látky nebo materiálu vést teplo, tepelný odpor vyjadřuje schopnost materiálu zdržet teplo a izolovat tak dvě prostředí.

Předkládaná bakalářská práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. Teoretická část práce je věnována vysvětlení pojmů spojených s tepelnými vlastnostmi, jako je teplo, tepelná vodivost, aj. Zabývá se také podrobným popisem způsobů přenosu tepla a metod používaných k měření tepelné vodivosti. Pro vysvětlení významnosti tepelných vlastností oděvů a textilií pro člověka, je zahrnuto také stručné vysvětlení pojmů spojených s komfortem při jejich užívání. Závěr první, teoretické, části práce je věnován popisu výplňových materiálů, které byly vybrány pro vlastní měření, a jejich vlastnostem.

Druhá, praktická, část práce se zabývá vlastním měřením statickou i dynamickou metodou měření a vlivem stlačení materiálu na jeho tepelné vlastnosti. Jako zástupce pro měření metodou statickou, bez zatížení vzorků, byl vybrán přístroj FOX304instrument, zástupcem měření dynamického, s postupným zatížením vzorků, je Thermal Conductivity Analyzer C-Therm Tci. Zmíněny jsou také technické specifikace jednotlivých vzorků výplňových materiálů.

Cílem práce je porovnání výsledných naměřených hodnot tepelně izolačních vlastností vybraných výplňových materiálů, používaných pro výplně spacáků, bund nebo přikrývek. Vyhodnocení výsledků se zabývá v jednom případě výsledky vzorků stlačených (C-Therm Tci), ve druhém případě vzorků nestlačených (FOX304instrument) a vzájemným porovnáním výsledných hodnot měření na dvou různých typech přístroje.

Závěr práce je věnován vyhodnocení výsledků, zhodnocením celé práce a návrhy dalších postupů při měření zvláště na přístroji FOX304instrument.

TEORETICKÁ ČÁST

1 TEPLO

Teplo je velikost změny vnitřní energie, kterou systém vymění, přijme nebo odevzdá, při styku s jiným systémem, aniž by současně docházelo ke konání práce. Tento jev je nazýván tepelná výměna. Teplo popisuje procesy, v nichž se odehrává spousta tzv. mikro- prací (srážek jednotlivých částic), které nelze přímo sledovat ani měřit.

O práci lze hovořit, pokud je možné způsobenou změnu energie vyjádřit jako součin veličin, obvykle se jedná o sílu a posunutí nebo tlak a změnu objemu, nebo konečně jako součin napětí, proudu a času. O teplo se jedná tehdy, když se změna energie jako součin jiných měřitelných veličin vyjádřit nedá. Teplo je fyzikální veličinou popisující změnu termodynamického stavu systému, nikoli však stav samotný. Jednotky tepla jsou shodné s jednotkami energie a práce.

Kinetická teorie udává, že při tepelné výměně se předává energie neuspořádaného pohybu částic, ze kterých se skládá systém teplo odevzdávající, ale také systém teplo přebírající. V případě, kdy není tepelná výměna spojena se změnou teploty, se jedná o latentní teplo. Změny tepla mohou být částečně ekvivalentní určité mechanické práci, případně kinetické energii částic (vibrační, rotační, translační), atd. nejsou však s nimi identické a liší se od nich fyzikálně. Tento rozdíl je názorně projeven ve spektroskopii [1].

1.1 Celsiova a Fahrenheitova stupnice

Pro všeobecné účely měření se teplota většinou měří v Celsiově stupnici. Teplotní údaj (Celsiova teplota) se měří ve stupních Celsia. Pro vyjadřování se používá symbol stupně °. Celsiův stupeň má stejnou velikost jako Kelvin [1].

Celsiovu teplotu definujeme vztahem:

$$T_C = T - 273,15^\circ. \quad (1)$$

Fahrenheitova stupnice, užívaná převážně v USA, užívá menší stupně než Celsiova a jinou hodnotu nuly. Číselné údaje Fahrenheitovy stupnice jsou dány vztahem:

$$[T_F] = \frac{9}{5} [T_C] + 32^\circ. \quad (2)$$

1.2 Měrná tepelná kapacita, Molární tepelná kapacita

Tepelná kapacita je konstanta úměrnosti množství tepla dodaného předmětu a tím způsobenou změnou jeho teploty. Platí vztah:

$$Q = C(T_f - T_i), \quad (3)$$

kde T_i a T_f jsou počáteční a koncová teplota předmětu. Jednotka tepelné kapacity C je energie na Kelvin (energie na stupeň Celsia).

K jednoduchému měření tepla lze využít změny teploty teploměrného systému při dodání (odebrání) tepla, tedy k ohřátí dané látky o hmotnosti m o přírůstek teploty dt , je třeba látce dodat teplo dQ , přičemž platí vztah:

$$dQ = c \cdot m \cdot dt, \quad (4)$$

kde c [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$] je měrná tepelná kapacita látky. Měrná tepelná kapacita látky je teplo, potřebné k ohřátí 1 kg látky o 1 K ($1^\circ C$). Pokud je dt záporné hodnoty, nastává ochlazení látky, záporná hodnota dQ znamená odebrání tepla. Měrná tepelná kapacita může záviset na teplotě, přičemž při vyšším teplotním intervalu $\Delta t = t_2 - t_1$, kde t_2 je konečná a t_1 počáteční teplota, lze vztah měrné tepelné kapacity vyjádřit užitím vztahu střední měrné tepelné kapacity $\langle c \rangle$ v daném intervalu teplot:

$$\Delta Q = \langle c \rangle m \Delta t = \langle c \rangle m (t_2 - t_1). \quad (5)$$

Množství látky lze vyjádřit také v molech ($1 \text{ mol} = 6,02 \cdot 10^{23}$ elementárních jednotek), kdy se používají analogové vztahy:

$$dQ = C \cdot n \cdot dt, \quad (6)$$

$$\Delta Q = \langle C \rangle n \Delta t = \langle C \rangle n (t_2 - t_1). \quad (7)$$

Pokud je látkové množství vyjádřeno v molech, pak je tepelná kapacita vztažena na 1 mol, pak hovoříme o molární tepelné kapacitě.

Vyjádření tepla se současným konáním práce je možné také v souladu s 1. větou termodynamickou, kdy teplo systémem přijaté při tepelné výměně je rovno zvýšení vnitřní energie systému zvýšené o práci systémem vykonanou [1].

1.3 Jednotky vyjádření tepla

Pro vyjádření tepla se užívá značka Q , jednotkou soustavy jednotek SI je joule [J]. Další jednotky vyjádření tepla jsou například kalorie [cal] nebo Britská jednotka teploty [Btu].

Platí:

$$1 \text{ cal} = 3,969 \cdot 10^{-3} \text{ Btu} = 4,186 \text{ J.} \quad (8)$$

2 MECHANISMY PŘENOSU TEPLA

Podle fyzikální podstaty dějů, kterými jsou přenosy tepla realizovány, lze rozlišovat následující tři způsoby přenosu tepla, a to vedením v látkách (kondukcí), prouděním látek (konvekci) nebo zářením (radiací).

Při přenosu tepla vedením si molekuly, nebo jiné stavební částice látky, předávají kinetickou energii neuspořádaných tepelných pohybů, které jsou předávány z míst o vyšší teplotě do míst o teplotě nižší. Vedení tepla probíhá u látek plynných, kapalných i pevných, ve spojitém látkovém prostředí.

Předpokladem přenosu tepla prouděním je také spojité látkové prostředí, probíhá však pouze v kapalinách nebo plynech. Kapalina nebo plyn může proudit samovolně nebo nuceně a tím přenášet teplo. Ohříváním se v důsledku roztažnosti zmenšuje hustota látek, která vyvolává samovolné proudění. V kapalinách a především v plynech převažuje přenos tepla prouděním nad vedením tepla vedením.

U třetího způsobu přenosu tepla, zářením, není vyžadováno látkové prostředí. Teplo se v tomto případě přenáší elektromagnetickým zářením, přestože prostor, v němž samotný přenos probíhá, není vyplněn látkou. Zcela jasným příkladem je zde například přenos tepla ze Slunce na Zemi. V případě, že přenos tepla zprostředkovává zcela nebo částečně infračervené záření, pak lze tento přenos definovat jako přenos tepla sáláním. [6]

2.1 Přenos tepla vedením

Rychlost vedení tepla u přenosu tepla vedením se vyjadřuje veličinou zvanou tepelný tok nebo tepelný výkon, která je definována vztahem:

$$J_Q = \frac{dQ}{d\tau}, \quad (9)$$

kde Q značí množství přenášeného tepla a T příslušný čas. Plošná hustota tepelného toku J_Q vyjadřuje tepelný tok na metr čtverečný plochy průtoku tepla. Je definována podílem tepelného toku a plochy a definována vztahy:

$$J_Q = \frac{dI_Q}{dS_n}, \quad (10)$$

nebo také vektorově:

$$dI_Q = J_Q \cdot dS. \quad (11)$$

Přenos tepla vedením, je v pevných látkách, uskutečňováno přenosem kinetické energie částic. Částice látky v oblasti s vyšší střední kinetickou energií předávají část své pohybové energie prostřednictvím vzájemných srážek částicím v oblasti s nižší střední kinetickou energií. Částice se přitom nepřemísťují, ale kmitají kolem svých rovnovážných poloh. [6]

2.1.1 Fourierův zákon

Základním kvantitativním vztahem pro přenos tepla vedením je Fourierův zákon vedení tepla. Fourierův zákon uvádí, že množství tepla prošlého tělesem je přímo úměrné teplotnímu spádu, času a průchodové ploše kolmé na směr proudění tepla.

Je definován rovnicí:

$$q = -\lambda \operatorname{grad} T, \quad (12)$$

kde

q	je vektor hustoty tepelného toku $[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}]$
$\operatorname{grad} T$	gradient teploty $[\text{K} \cdot \text{m}^{-1}]$
λ	tepelná vodivost $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \text{K}^{-1}]$.

Veličina q , udávající množství tepla prošlého jednotkou průřezu za jednotku času, se nazývá tepelný tok. V technické soustavě se tepelný tok q udává v jednotkách $[\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}]$ [9].

2.1.2 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost λ je jednou z fyzikálních vlastností látek. Určuje rychlost přenosu tepla. Představuje rychlost, s jakou částice s vyšší kinetickou energií a vyšší rychlostí tepelných pohybů přenášejí tepelnou energii z míst s vyšší teplotou do míst s teplotou nižší, zjednodušeně řečeno, charakterizuje schopnost látky vést teplo [6].

Tepelná vodivost je definována jako množství tepla, které musí za jednotku času projít tělesem, aby na jednotkovou délku byl jednotkový teplotní spád, přičemž se předpokládá, že ne teplo se šíří pouze v jednom směru, např. v desce s rovnoběžnými povrchy.

Tepelná vodivost látek závisí na těchto faktorech:

- na struktuře látek,

- na měrné hmotnosti,
- tlaku,
- vlhkosti,
- elektro magnetickém poli,
- teplotě.

Tepelná vodivost závisí především také na množství vzduchu, které jsou vlákna schopna pojmout do své struktury, na kadeřavosti a míře obloučkování vláken.

Množství tepla Q , které projde za čas t plochou S do hloubky d , se určí vztahem:

$$Q = \lambda S \frac{\Delta T}{d} \tau, \quad (13)$$

kde

Q množství prošlého tepla [J] textilním materiálem

λ koeficient tepelné vodivosti [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

ΔT rozdíl teplot na vzdálenost d na povrchu textilie

S plocha textilie [m^2]

T čas [s].

U materiálů, které mají předem definovanou tloušťku je většinou udáván součinitel prostupu tepla U , který je definován jako výkon, který projde plochou o velikosti jednoho čtverečního metru při rozdílu teplot 1 kelvin.

Tepelná vodivost různých materiálů se podstatně liší. Nejvyšší tepelnou vodivost mají kovy, relativně nízkou tepelnou vodivost mají některé typy stavebních materiálů a keramiky. Ještě nižší tepelnou vodivost mají polymery. Klidný vzduch o teplotě 20°C má tepelnou vodivost přibližně $0,025 [\text{W}/\text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$, zatímco tepelná vodivost vody je $0,58 [\text{W}/\text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$, což je asi 25 násobně vyšší [14].

Podle vyjádření součinitele se materiály nebo látky dělí na tepelné vodiče, materiály nebo látky s vysokou rychlostí vedení tepla a vysokou hodnotou součinitele tepelné vodivosti a tepelné izolanty, látky s nízkou rychlostí vedení tepla a nízkou hodnotou součinitele tepelné vodivosti.

Z pohledu dynamiky daného procesu lze vedení tepla rozlišovat jako ustálené (stacionární), kdy teplo prochází prostorem tak, že se teplota v kterémkoliv místě s časem nemění, a neustálené (nestacionární), kdy se teplotní rozdíly mezi jednotlivými částmi tělesa, mezi kterými se teplo přenáší, postupně vyrovnávají [6].

Výrazný vliv na tepelnou vodivost má vlhkost obsažená v daném materiálu. S nárůstem vlhkosti dochází k poklesu tepelně izolačních vlastností, což způsobuje obsah vody, která má, jak bylo uvedeno výše, součinitel tepelné vodivosti přibližně 25x vyšší než vzduch proudící při šíření tepla prouděním. V případě, že by byl materiál vystaven teplotě pod bodem mrazu, dochází k dalšímu značnému nárůstu součinitele tepelné vodivosti.

2.1.3 Teplotní vodivost

Pro vyjádření tepelných vlastností soustavy je z fyzikálního hlediska významná teplotní vodivost. Udává schopnost materiálu o definované vlhkosti vyrovnávat teplotní rozdíly při neustáleném vedení tepla [14].

Součin tepla $c \cdot \rho$ ve jmenovateli představuje tepelnou kapacitu jednotkového objemu látky. Zjednodušeně vyjádřeno vzorcem:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \quad (14)$$

kde

λ tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

c měrné teplo

ρ hustota měřené látky [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

2.1.4 Tepelná jímavost

Tepelná jímavost je parametr charakterizující schopnost materiálů přijmout nebo odevzdat teplo. Čím větší je tepelná jímavost materiálu, tím méně materiál teplo přijímá i uvolňuje. Stejně tak nízká hodnota tepelné jímavosti značí, že materiál teplo rychle přijímá, ale také zároveň odevzdává [14].

Materiál, který má větší absorpční schopnost, pocítujeme hmatem jako chladnější. Tepelná jímavost b se udává v jednotkách [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{1/2}$] a vyjadřujeme ji vztahem:

$$b = \frac{\lambda}{\sqrt{\alpha}} = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}. \quad (15)$$

2.2 Přenos tepla prouděním

V kapalinách nebo plynech je přenos tepla realizován, v důsledku malé tepelné vodivosti, nejčastěji prouděním (konvexí). Hmotné prostředí se při proudění udává do pohybu a unáší tak s sebou teplo, kdy pohybem této hmoty dochází k pohybu jednotlivých částic, které mají odlišnou teplotu a také hustotu vnitřní energie. Tento jev si lze při pozorování plamene svíce nebo zápalky. Proudění tepla je součástí také mnoha přírodních dějů.

2.3 Přenos tepla zářením

Při předávání tepla zářením není potřebné při svém šíření materiální prostředí, neboť tepelnou energii zde přenáší elektromagnetické vlnění, přičemž každé těleso vyzařuje z jednotky svého povrchu výkon úměrný čtvrté odmocnině své absolutní teploty. Zcela jasným příkladem je zde například přenos tepla ze Slunce na Zemi.

2.4 Tepelný izolant

Tepelný izolant je látka s nízkou tepelnou vodivostí, což znamená, že špatně vede teplo. Veličina, která umožňuje porovnání látek podle tepelné vodivosti, se nazývá součinitel tepelné vodivosti. Tepelné izolanty mají nízký součinitel tepelné vodivosti. Opakem tepelného izolantu je tepelný vodič.

Nejllepšími tepelnými izolanty jsou plyny a kapaliny, které rychleji než vedením přenášejí teplo prouděním.

Z pevných látek jsou dobrými tepelnými izolanty především takové látky, které obsahují hodně plynu (vzduchu), např. minerální vlna (kamenná nebo skelná), peří, srst, papír, dále např. sklo, dřevo, polystyren, aj. Ve stavebnictví se kvůli lepší tepelné izolaci používají cihly s dutinami. Z látek neobsahujících plyny jsou dobrými tepelnými izolanty například plasty (mezi které patří výše zmíněný polystyren, polyuretan a řada dalších).

Tepelné izolanty se využívají všude tam, kde je třeba zabránit předávání tepla, k tomu dochází nejčastěji, když je třeba zabránit úniku tepla anebo v případě, kdy je třeba zabránit ohřevu nějakého materiálu.

Typickým příkladem z praxe je zimní oblečení, které izoluje teplo díky vzduchu, který je uzavřený mezi vlákny, na obdobném principu fungují syntetická dutá vlákna či peří. Proto je v zimě vhodnější mít oblečeno několik vrstev tenkého oblečení než

jedinou silnou textílie. Mezi vrstvami oblečení je dostatek vzduchu, který brání tepelným ztrátám [10].

2.5 Tepelný odpor

Schopnost materiálu klást odpor proti průchodu tepla, tedy izolovat dvě prostředí, vyjadřuje tepelný odpor. Značí se R [tog], R_{ct} [clo], udává se v jednotkách $[m^2.K.W^{-1}]$. Vyjadřuje velikost plochy nutné k přenosu tepla o hodnotě 1 watt při rozdílu teploty 1 kelvin [8].

Lze jej vyjádřit také praktickou jednotkou tepelné odolnosti používanou v textilním zkušebnictví *tog*; $1 \text{ tog} = 0,1 m^2.K/W$. Dále také praktickou jednotkou *clo* vyjadřující tepelný komfort oděvu v klidu při pokojové teplotě 21°C.

Tepelný odpor lze vyjádřit jako reciprokou hodnotu množství tepla prošlého za jednotkový čas jednotkovou plochou při jednotkovém teplotním spádu. Je ovlivňován několika faktory, tloušťkou, vazbou, prodyšností, vlhkostí. Při vyšší tloušťce se tepelný odpor zvyšuje, vyšší prodyšnost materiálu tepelný odpor snižuje, vyšší vlhkost tepelný odpor snižuje. Příkladem je také využití materiálu s vysokou prodyšností na oděv s vysokou tepelnou izolací. Při použití materiálu s vysokou prodyšností není možné dosáhnout vysokých tepelně izolačních vlastností oděvu, ani při použití větší tloušťky materiálu, neboť proudění uvnitř textílie i mezi jednotlivými vrstvami oděvu je díky vysoké prodyšnosti zesílený [10].

Tepelný odpor neboli tepelnou odolnost vyjadřujeme vztahem

$$R = \frac{S \cdot \tau \cdot \Delta T}{Q} = \frac{h}{\lambda}, \quad (16)$$

kde

R tepelný odpor $[m^2.K.W^{-1}]$

λ koeficient tepelné vodivosti $[W.m^{-1}.K^{-1}]$

Q množství přivedeného tepla [J]

ΔT rozdíl teplot na povrchu textílie [K]

h tloušťka textílie [m].

3 ZPŮSOBY MĚŘENÍ TEPELNÉ VODIVOSTI

Tepelnou vodivost lze měřit metodami statickými (přímými) nebo metodami dynamickými (nepřímými). Základem pro měření je znalost rozložení teplotního pole v měřeném vzorku. Každý z těchto způsobů je závislý na tepelném režimu, v němž se dané měření uskutečňuje.

Podle způsobu vytváření teplotního pole ve vzorku se rozlišují metody:

- statické – měření probíhá při stálém tepelném výkonu,
- dynamické – tepelný výkon se v průběhu měření mění.

Pro materiály, které jsou tepelnými izolanty, jsou více vhodné nestacionární dynamické metody měření a pro materiály s dobrou tepelnou vodivostí, metody statické [14].

K nejčastěji používaným metodám patří metody statické. Jejich největší předností je možnost přesného měření. Nejjednodušším případem vedení tepla je jednorozměrné vedení rovinou deskou. Nevýhodou statických (přímých) metod měření tepelné vodivosti je časová náročnost měření a možnost stanovit tepelnou vodivost pouze suchých vzorků. U dynamických metod vedení tepla se teplota v určitém místě mění v závislosti na čase. V praxi se nejčastěji můžeme setkat s případem, kdy je teplo vedeno pouze v jednom směru.

3.1 Statické metody měření tepelné vodivosti

Základní princip všech statických (přímých) metod měření tepelné vodivosti je stejný. Teplo přechází od povrchu vyhřívané desky, válce nebo koule izolační vrstvou k chladnějšímu povrchu, kde je odváděno. Měřením se pak zjišťuje tloušťka vzorku, povrchové teploty obou povrchů přístroje a množství tepla. Nejčastěji je množství tepla zjišťováno převodem elektrické energie spotřebované ve vyhřívacím zařízení.

Základní podmínku pro metodu měření je průchod přiváděného tepla celým zkušebním vzorkem a bez tepelných ztrát. Důležité je také vyčkání stavu, kdy nastane ustálený a stejnoměrný tepelný proud, který přenáší stálé a známé množství tepla měřenou látkou. Poté se změří teplotní spád, který se v ní přitom vytvoří. Měřicí zařízení musí zajišťovat zamezení bočních tepelných ztrát [6].

Stacionární metody měření tepelné vodivosti představují především následující hlavní typy:

- deskový přístroj podle Poensgena, deskový přístroj podle Bocka
- válcový přístroj Van Rinsuma

- kulový přístroj podle Nusselta
- přístroj pro měření tepelné vodivosti Togmeter,
- přístroj pro měření tepelné vodivosti FOX304 instrument.

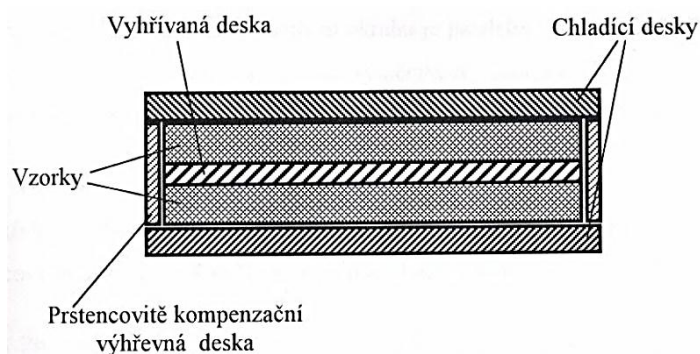
3.1.1 Deskový přístroj podle Poensgena

Deskový přístroj podle Poensgena je určen pro měření tepelné vodivosti materiálů pevných a také materiálů sypkých. Podmínkou však je, že zkušební vzorky musí mít tvar desek, aby vytvořené tepelné pole se souběžnými tepelnými proudy, mezi vyhřívanou a chlazenou deskou přístroje, mohlo zkoušeným vzorkem procházet kolmo.

Podstatou zkoušky je šíření tepelného toku a rozdílů povrchových teplot vzorků při ustáleném tepelném stavu. Součinitel tepelné vodivosti se vypočítá ze zjištěných hodnot, měrné plochy a tloušťky zkoušeného vzorku [11].

Samotný přístroj se skládá z vyhřívané desky a desek chladících. Výchřevná deska obsahuje elektrickou výchřevnou mřížku, oboustranně krytou izolačními deskami s povrchovými deskami z hliníkového nebo měděného plechu. Z obou stran jsou na desku přiloženy izolační desky stejné jakosti a stejné tloušťky. Rozměr izolačních desek je kromě šířky shodný s výchřevnou deskou. Pro odstranění tepelných ztrát je výchřevná deska obklopena ve stejné rovině prstencovitě kompenzační výchřevnou deskou s vlastní výchřevnou mřížkou. Tato mřížka je ohřívána na stejnou teplotu jako výchřevná deska umístěná uvnitř přístroje. Na styčné ploše obou desek je nepatrná mezera. Vnější plochy vzorků pokrývají chladící desky, které ochlazuje protékající voda. Vodu procházející chladícími deskami uvádí do pohybu vodní čerpadlo. Zapojení desek ve vodním okruhu je paralelní, rozměry těchto chladících desek jsou shodné s rozměry desky kompenzační. Zapojením výměňkové nádržky nebo pomocí termostatu lze nastavit požadovanou teplotu vody. Pro vyplnění volného prostoru po obou stranách mezi deskami kompenzačními a chladícími se využívá buď stejný, nebo vlastnostmi podobný materiál. Celé měřicí zařízení je uloženo ve skříni. Volný prostor je vyplněn převážně izolační vlnou.

Ze sledovaných hodnot napětí a intenzity se určuje výchřevný elektrický příkon, vzájemné vyrovnání teplot výchřevné a kompenzační desky sleduje termočlánekový systém. Povrchové teplo se u zkoušeného vzorku měří na výchřevné desce termočlánek. Schéma přístroje je uvedeno na obrázku 1 (*Obrázek 1 Přístroj pro měření tepelné vodivosti podle Poensgena*) [11].



Obrázek 1 Přístroj pro měření tepelné vodivosti podle Poensgena¹

Velmi podobným přístrojem je také Jednodeskový přístroj podle Poensgena. Skládá se pouze z jedné elektrické topné desky, nad kterou je umístěn měřený vzorek. Na měřeném vzorku je umístěno chladicí zařízení (chladič). Pro zajištění kompenzace tepelných ztrát na okrajích měřeného vzorku a pro zajištění jednorozměrného tepelného toku slouží vyhříváné pásy. K měření teploty na povrchu ohřívané a ochlazované strany vzorku se používají termočlánky. Celé zařízení je stejně jako dvou deskový přístroj uloženo ve skříni, jejíž volné prostory jsou vyplněny izolační vlnou [11], [12].

3.1.2 Deskový přístroj podle Bocka

Deskový přístroj podle Bocka má princip funkčnosti založen na Poensgenově metodě, tedy na kolmém průtoku tepla zkoušeným vzorkem z výhřevné desky přístroje k desce chladicí. Měření se provádí při ustáleném stavu a je vhodné jak pro pevné tak pro sypké materiály.

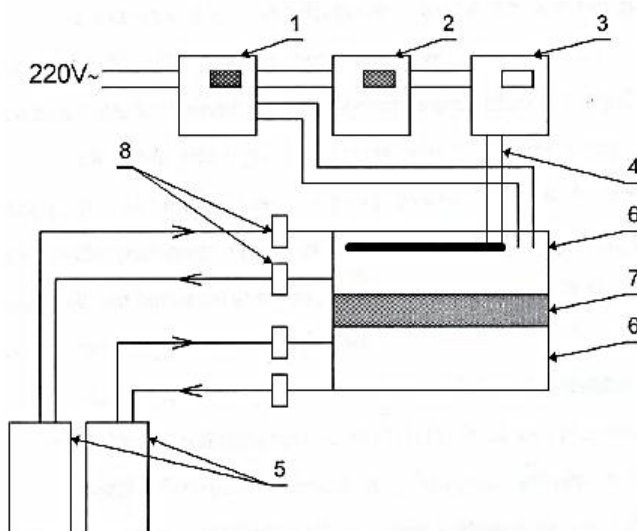
Přístroj tvoří dvě kovové duté desky, horní vyhříváná deska a spodní chladicí deska. Horní měřicí desku obklopuje ochranná kompenzační výhřevná deska, která k měřicí desce těsně přiléhá. Obě desky jsou však od sebe tepelně izolovány. Ochranná kompenzační výhřevná deska se vyhřívá na konstantní teplotu kapalinou ohřívanou v termostatu.

Spodní chlazená deska se ochlazuje na stálou teplotu protékající vodou, jejíž teplota se udržuje na konstantní výši termostatem. Jádru měřicí soupravy zakrývá při měření izolovaný kryt. Měření elektrického příkonu spotřebovaného výhřevnou deskou je zaznamenáváno elektronicky.

¹ Zdroj obrázku: Horák, Z.: Praktická fyzika, SNTL, Praha, 1968

Celý přístroj je zabudován do měřicího stolu, v jehož spodní části jsou umístěny oba termostaty. Na pracovní desce je umístěno vlastní měřící zařízení, v přídatných částech jsou zabudovány kontrolní a pomocné prvky [11], [12].

Schéma deskového přístroje podle Bocka znázorňuje obrázek 2 (*Obrázek 2 Schéma přístroje pro měření tepelné vodivosti podle Bocka*).



- | | |
|--------------------------|------------------------|
| 1 – motorový kompenzátor | 5 – termostaty |
| 2 – wattmetr | 6 – topné desky |
| 3 – přepínač výkonu | 7 – zkušební deska |
| 4 – topení | 8 – odporové teploměry |

Obrázek 2 Schéma přístroje pro měření tepelné vodivosti podle Bocka²

3.1.3 Válcový přístroj podle Van Rinsuma

Metoda měření tepelné vodivosti podle Rinsuma je založená na upevnění izolačního materiálu na zkušební elektricky vyhřívanou trubku. Na vyhřívané trubce se odměřují teploty a měří elektrický příkon. Uvnitř trubky je umístěn topný prvek ze žáruvzdorného materiálu, většinou elektricky vyhřívaná spirála, kterou z obou stran izoluje elektrická izolace. Proud, který napájí výhřevnou spirálu, má stabilizované napětí a jeho příkon reguluje autotransformátor. Na okrajových částech jsou umístěna boční čela ke kompenzaci tepelných ztrát.

Měření teploty na povrchu trubky a měřeného materiálu probíhá pomocí termočlánků. Spotřeba elektrického proudu topným prvkem se může měřit například wattmetrem. Tepelná vodivost se určuje v zásadě vždy pouze z hodnot naměřených v ustáleném stavu [12].

² Zdroj obrázku: Kuno, Z.: Tepelné izolácie a meranie tepelných ztrát, SNTL, Praha, 1963

3.1.4 Kulový přístroj podle Nusselta

Podstata zkoušky u kulového přístroje podle Nusselta spočívá ve zjišťování tepelné vodivosti sybkých a pevných materiálů, které se zformují do vrstvy mezi koule zkušebního zařízení. Zjišťují se výpočtem hodnot z jejich rozměrů, teplotního rozdílu na vnějším povrchu obou koulí zkušebního zařízení a množství tepla prostupujícího při ustáleném teplotním stavu [11].

Zkušební zařízení tvoří dvě soustředěné koule, které vymezují tvar měřené vrstvy, vyrobené většinou z mědi. Vnitřní koule je volně uložená nebo zavěšená uvnitř koule vnější. Uvnitř vnitřní koule je uloženo elektrické topné těleso, elektrická vyhřevná spirála, která zajišťuje její rovnoměrný ohřev a teplo je pravidelně rozloženo po celém povrchu. Vnější koule se dělí na části, přičemž na horní polovině se nachází snímatelný příklop pro plnění prostoru mezi koulemi zkoušeným materiálem. Povrchová teplota se měří termočlánky, které jsou pravidelně rozloženy na vnějším povrchu obou koulí. U obou koulí musí být pomocí termočlánků zajištěny průměrné teploty celého povrchu každé koule. Není zde potřebné kompenzační zařízení pro eliminaci tepelných ztrát, neboť teplo vyvinuté ve vnitřní vyhřívané kouli prostupuje skrze zkoušený materiál až k vnějšímu plášti. Od vnějšího pláště přestupuje vyvinuté teplo do okolí a nevznikají žádné okrajové ztráty.

Měřicí zařízení se skládá ze soupravy regulačních a měřicích přístrojů. Kontrolu množství elektrické energie určuje wattmetr [12].

3.1.5 Přístroj pro měření tepelné vodivosti Togmeter

Podstatou zkoušky, u přístroje Togmeter, je měření toku tepla skrz danou plochu textilie, která je v kontaktu s materiálem o známé teplotní odolnosti, v důsledku stacionárního gradientu teploty. Na přístroji lze měřit metodou se dvěma měřicími deskami nebo metodou s měřicí deskou jednou.

Metoda s dvěma deskami se používá převážně pro materiály skryté při používání (např. přikrývky a povlečení). Metoda s jednou deskou se používá v případě, že je materiál z jedné strany přístupný vzduchu (např. svrchní ošacení, spacáky). Z důvodu přesnosti a snazší reprodukovatelnosti je vhodnější použití dvou deskové metody pro všechny materiály. Zkouška odpovídá normě ISO 5085-1 „Textiles – Determination of thermal resistance - Part 1 – Low thermal resistance” a standardu BS 4745.

Tepelná odolnost R [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$], je zde vyjádřena jako poměr rozdílu teploty mezi dvěma stranami zkušebního vzorku vůči toku tepla na jednotku plochy. Tepelnou vodivost k [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$], zde vyjadřuje množství tepla, které projde přístrojem za jednotku

času přes jednotku plochy na jednotku tloušťky vzorku, pokud existuje rozdíl teplot mezi dvěma stranami vzorku. Jednotka tepelné odolnosti, která se běžně používá v textilu a oděvnictví je „TOG”.

$$1 [\text{TOG}] = 0,1 [\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}].$$

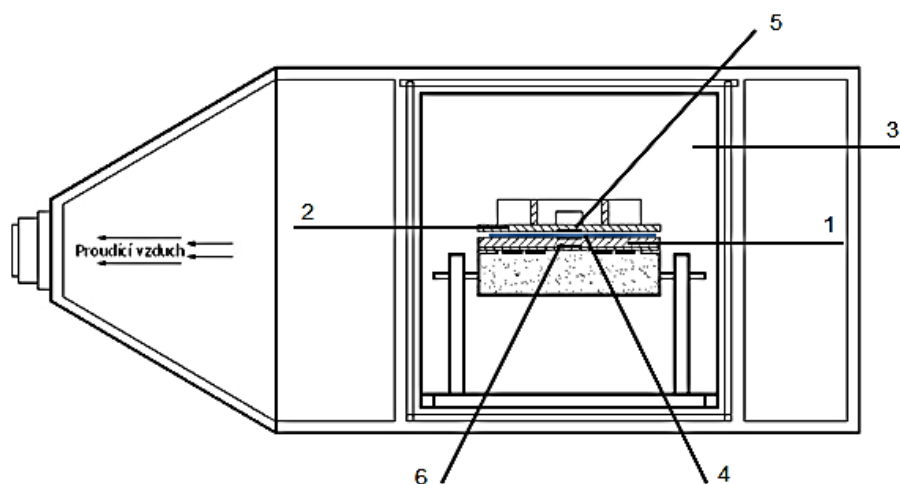
Pro plochý materiál, který má paralelní strany platí:

$$R = \frac{d}{k}, \quad (17)$$

kde d je tloušťka vzorku [m].

Zkouška odpovídá normě ISO 5085-1 „Textiles – Determination of thermal resistance – Part 1 – Low thermal resistance“ a standardu BS 4745. Normy ISO 5085 a BS 4745 stanovují, že studená horní deska musí na vzorek působit tlakem 6,9 Pa. Pro zajištění přesného přtlaku je třeba nejprve změřit tloušťku každého vzorku při tlaku 6,9 Pa pomocí tloušťkoměru. Tato hodnota se poté použije k nastavení vzdálenosti mezi deskami přístroje [16].

Přístroj Togmeter je vhodným zařízením pro zkoušení podle ISO5085 část 1 a BS 4745. Součástí přístroje tvoří tři teplotní čidla CH1, CH2, CH3 a topné těleso, které je ovládáno pomocí digitálního ovladače teploty. Je vybaven také vyhřívanou dolní deskou a studenou horní deskou. K oběma deskám jsou připojena teplotní čidla. Třetí teplotní čidlo snímá teplotu v prostoru mezi oběma deskami, v místě umístění měřeného vzorku. Pro přesné umístění horní studené desky je přístroj dále vybaven třemi šrouby s ručičkovými tloušťkoměry umístěnými na dotykových šroubovatelných ploškách. Další ze součástí tvoří zapisovač dat. Přístroj je uložen ve speciální skřínce s řízeným tokem vzduchu. Detailní schéma přístroje je zobrazeno na obrázku 3 (*Obrázek 3 Schéma přístroje Togmeter*) [16].



- | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1 - vyhříváná spodní deska | 2 - studená horní deska |
| 3 - skříň s řízeným tokem vzduchu | 4 – zkoušený vzorek |
| 5 - teplotní čidla horní desky | 6 – teplotní čidla spodní desky |

Obrázek 3 Schéma přístroje Togmeter³

Vzorky materiálů připravené pro měření na přístroji Togmeter mají předepsaný kruhový tvar o průměru 330 mm, nesmí být zmačkané nebo se záhyby. Z plošné textilie se odebírají dle ČSN EN 12751 je třeba je předem kondicionovat tak, že jsou ponechány ve standardní atmosféře pro testování po dobu 24 hodin podle definice v normě ISO 139, tj. relativní vlhkost $(65 \pm 2) \%$ a teplota $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Pro optimální vyhodnocení je třeba zkoušet minimálně tři vzorky od každého testovaného materiálu.

Při využití metody měření se dvěma deskami je třeba nejprve nastavit vzdálenost, mezi horní a dolní deskou dle změřené tloušťky při tlaku 6,9 Pa, pomocí velkých šroubů na všech ručičkových tloušťkoměrech. Měřený vzorek se pokládá na teplou spodní desku, přičemž studená deska se opatrně pokládá na připravenou podložku tak, aby dotykové osy ručičkových tloušťkoměrů byly volné a ničeho se nedotýkaly. Na každém termoelektrickém bodu CH1, CH2 a CH3 se sleduje teplota a v případě, že se po dobu nejméně 30 minut nemění, je možné naměřené hodnoty odečíst. Kolísání v různých teplotních hladinách by nemělo přesáhnout 0,1 K během této doby. Teplota zaregistrovaná čidly CH1, CH2 a CH3 se zaznamená na nejbližší 0,01 K [16].

U metody měření s jednou deskou se pokládá měřený vzorek na teplou spodní desku, přičemž vnější strana zůstává nezakrytá. Strany vzorku se uchycují lepicí páskou. K měření teploty vzduchu se používá pouze teplotní čidlo CH3. Po dobu 30

³ Zdroj obrázku: <http://krakatice.kod.tul.cz/frvs2025/?chap=5&pg=1>

minut, jako u předchozí zkoušky se udržuje ustálený stav teploty a zaznamenává se teplota zaregistrovaná čidly CH1, CH2 a CH3 zaokrouhlená na 0,01 K. Zkouška se dále opakuje bez vzorku s prázdnou deskou [16].

Pro vyhodnocení zkoušky a vyjádření výsledků se používají následující výpočty:

Tepelný odpor R_c

Jsou-li vyhřívaná a studená deska přístroje spolu ve vzájemném kontaktu a bylo-li dosaženo ustáleného stavu, je možné vypočítat tepelný odpor R_c z následující rovnice:

$$R_c = R_s \cdot \frac{\theta_2 - \theta_3}{\theta_1 - \theta_2}, \quad (18)$$

kde

R_s je tepelný odpor „standardu“

θ_1 teplota zaznamenaná čidlem T1 [°C]

θ_2 teplota zaznamenaná čidlem T2 [°C]

θ_3 teplota zaznamenaná čidlem T3 [°C].

Tepelný odpor zkušebního vzorku měřený metodou se dvěma deskami

Po ustáleném stavu čidel T1, T2, T3 je tepelný odpor zkušebního vzorku R_f dán rovnicí:

$$\frac{R_f + R_c}{R_s} = \frac{\theta'_2 - \theta'_3}{\theta'_1 - \theta'_2}, \quad (19)$$

kde

R_f tepelný odpor zkušebního vzorku [m²K/W]

θ'_1 teplota zaznamenaná čidlem T1 [°C]

θ'_2 teplota zaznamenaná čidlem T2 [°C]

θ'_3 teplota zaznamenaná čidlem T3 [°C]

$$R_f = \left(\frac{\theta'_2 - \theta'_3}{\theta'_1 - \theta'_2} - \frac{\theta_2 - \theta_3}{\theta_1 - \theta_2} \right) \cdot R_s \quad (20)$$

Tepelná odolnost zkušebního vzorku metodou s jednou deskou

Po ustálení stavu čidel T1, T2, T3 je tepelný odpor R_f zkušebního vzorku dán rovnicí:

$$\frac{R_f + R_c + R_a}{R_s} = \frac{\theta''_2 - \theta_a}{\theta''_1 - \theta''_2}, \quad (21)$$

kde

R_a tepelný odpor okolního vzduchu [$\text{m}^2\text{K/W}$]

θ''_2 teplota zaznamenaná čidlem T2 [$^{\circ}\text{C}$]

θ''_1 teplota zaznamenaná čidlem T1 [$^{\circ}\text{C}$]

θ_a teplota zaznamenaná čidlem T3 [$^{\circ}\text{C}$]

$$R_f = \left(\frac{\theta''_2 - \theta_a}{\theta''_1 - \theta''_2} - \frac{\theta'''_2 - \theta_a}{\theta'''_1 - \theta'''_2} \right) \cdot R_s, \quad (22)$$

kde

R_f tepelný odpor zkušební vzorku [$\text{m}^2\text{K/W}$]

θ'''_2 teplota zaznamenaná čidlem T2 [$^{\circ}\text{C}$]

θ'''_1 teplota zaznamenaná čidlem T1 [$^{\circ}\text{C}$].

3.1.6 Přístroj pro měření tepelné vodivosti FOX304 instrument

Přístroj FOX314 je mikroprocesorově ovládaný přístroj na měření součinitele tepelné vodivosti v rozmezí $0,005 - 0,35 [\text{W.m.K}^{-1}]$ podle norem ASTM C 518, ČN EN 12667 a ISO 8301. Přístroj umožňuje testovat vzorky tepelně izolačních materiálů o rozměrech $305 \times 305 \text{ mm}$ a tloušťce až 100 mm . Vzorek se vkládá mezi dvě desky, které jsou dle potřeby termoelektricky ohřívány nebo ochlazovány na teplotu od -20°C až do $+95^{\circ}\text{C}$ a jsou opatřeny převodníky tepelného toku v podobě tenké vrstvy [17].

Samotný přístroj sestává z komory a základny se sekci klávesnice a displeje. Všechna elektronika se nachází v sekci základny s klávesnicí a displejem. V přední části vzorkové komory jsou umístěna dvířka pro vkládání měřených vzorků mezi dvě desky. Spodní deska je pevná, horní se může pohybovat směrem nahoru a dolů pomocí čtyř nezávislých krokových motorů. Polohu všech čtyř rohů spodní desky monitorují čtyři digitální senzory tloušťky. Vždy když je do komory vložen vzorek a sestava je sevřena, je určena průměrná tloušťka vzorku s přesností $\pm 0,025 \text{ mm}$ ($\pm 0,001''$). Systém se skládá z centrální a okrajové skupiny termočlánků, které jsou nezávisle kontrolovány pro eliminaci radiálních teplotních gradientů v deskách. Obě desky jsou osazeny speciálním systémem pro chlazení nebo ohřev. Pro kontrolu teplot obou desek jsou používány skupiny Peltierů. Vodou chlazené kovové chladiče jsou uchyceny k zadní straně Peltierů. S chladicí vodou s teplotou 8°C a -20°C studenou chladnou deskou, mohou být desky uchovávány v jakékoliv nezávislé teplotě v rozmezí

od -20°C do 95°C , s rozdílem $\pm 0,02^{\circ}\text{C}$. Před samotným zapnutím přístroje je vždy velmi důležité ujistit se, že je přístroj připojen k vodě, jinak by mohlo dojít k vážnému poškození přístroje.

Hlavní část elektroniky tvoří Digital Signal Procesor (DSP), který kontroluje všechny aspekty ovládání přístroje. Jedním z jeho nejdůležitějších úkolů je vytvářet víceúrovňový PID algoritmus pro kontrolu obou desek ba set point teplotách se stabilitou $\pm 0,02^{\circ}\text{C}$. Kontrolní systém DPS používá speciální software napsaný v jazyku Assembly, vykonávající všechny nezbytné procesy, jako je hlídání rozhraní uživatel přístroj, kontroluje krokové motory a přesné určení tloušťky vzorku, čte signály z měřáků tepelného toku a termočlánků na obou deskách, přesně kontroluje stabilizaci teplot obou desek, počítá výsledky a kontroluje teplotní rovnováhu, průměruje data a počítá teplotní vodivosti vzorků. Data přenáší do software v počítači nebo je přímo exportuje na tisk.

Základní princip, přístrojů pro měření tepelného toku FOX, je založen na jednorozměrném Fourierově zákoně.

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx}, \quad (23)$$

kde q je teplotní tok $[\text{W}/\text{m}^2]$ tekoucí přes vzorek, λ je tepelná vodivost $[\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}]$, dT/dx je teplotní gradient $[\text{K}\cdot\text{m}^{-1}]$ na izotermním plochém povrchu vzorku. Pokud je plochý vzorek umístěn mezi dvě ploché izotermní desky udržované na dvou rozdílných teplotách a stabilizuje se jednorozměrné teplotní pole, teplotní pole by mělo být uniformní v celém objemu vzorku. Teplotní gradient může být určen měřením rozdílu mezi teplotami horké a studené desky ($\Delta T = T_{hot} - T_{cold}$) a tloušťkou vzorku Δx , protože v tomto případě je průměrný teplotní gradient dT/dx ekvivalentní $-\Delta T/\Delta x$ [17].

Před započítáním měření vzorků s neznámou tepelnou vodivostí je zapotřebí přístroj kalibrovat za použití vzorku se známými hodnotami tepelné vodivosti $\lambda_{cal}(T)$.

Elektrický signál z převodníku Q (μV) je úměrný teplotnímu toku q :

$$q = \lambda_{cal}(T_{cal}) \left(\frac{\Delta T_{cal}}{\Delta x_{cal}} \right) = S_{cal}(T_{cal}) Q. \quad (24)$$

Protože se fyzikální vlastnosti převodníku mění s teplotou, je důležité při teplotní kalibraci přístroje se známým vzorkem získat teplotně závislý kalibrační faktor $S_{cal}(T)$. Rozměr kalibračního faktoru je $[\text{Wm}^{-2}\mu\text{V}^{-1}]$ nebo $[\text{Wm}^{-2}\text{mV}^{-1}]$. V některých laboratořích se používá reciproční hodnota. Každý z obou převodníků má svoji vlastní teplotu, takže kalibrační faktory měl odpovídat k aktuální teplotě převodníku. Během

kalibrace se měří dva samostatné sety kalibračních faktorů. Kalibrační faktory $S_{cal}(T)$ jsou charakteristikou přístroje. Používají se pro výpočet tepelné vodivosti během testu:

$$\lambda_{test} = S_{cal}(T_{test}) Q \frac{\Delta x_{test}}{\Delta T_{test}}. \quad (25)$$

Vzhledem k tomu, že má každá deska svou vlastní teplotu, měly by kalibrační faktory být použity pro každou stávající teplotu desky. Konečným výsledkem měření tepelné vodivosti je průměr hodnot dvou tepelných vodivostí. Typická hodnota tepelné vodivosti $\alpha = \lambda / C_p \rho$ teplotně izolačního materiálu je kolem $(4-7) \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ($C_p \rho$ je objemové specifické teplo, C_p je specifické teplo za konstantního tlaku, ρ je hustota). Fourierovo číslo $F_o = at / (\Delta x / 2)^2$ je kolem 9-16 za hodinu pro vzorek tlustý 1'' (25,4 mm). Měření silných vzorků má tedy větší spotřebu času.

Experimentální pokusy ukázaly, že průměrná hodnota signálu dvou hodnot tepelných toků vykazuje dosažení rovnováhy několikrát rychleji než jejich jednotlivé hodnoty [17].

3.2 Dynamické metody měření tepelné vodivosti

U dynamických (nepřímých) metod měření tepelné vodivosti nalezneme obdobný princip jako u jako metod statických, avšak s tím rozdílem, že dynamické metody vyžadují pro své měření velmi krátkou dobu. Velmi krátká doba měření tak umožňuje měření vlhkých vzorků a určení vlivu vlhkosti na tepelnou vodivost. Žádoucí je použití zkušebních vzorků především s menšími tloušťkami [14].

Dynamické metody stanovují především tepelnou efusivitu e (nebo tepelnou jímavost b), a umožňují dle zadaných kritérií spočítat měrnou teplotní vodivost α a měrnou tepelnou kapacitu C_p . Z naměřené teplotní vodivosti, znalosti hustoty a tepelné kapacity lze následně tepelnou vodivost vypočítat. Tento způsob lze použít při proměnném tepelném toku a zaznamenávání změn teploty. Z množství dynamických metod měření v nestacionárních podmínkách jsou níže podrobněji popsány následující metody:

- měření podle Fitchovy metody,
- měření na přístroji Alambeta,
- měření na přístroji C-Therm TCi.

Mezi dynamické metody měření tepelné vodivosti patří také metody horkého drátu (Hot-Wire-Method).

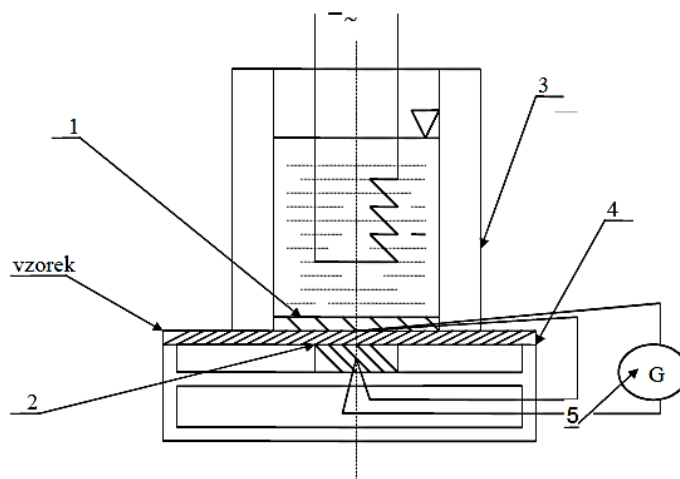
3.2.1 Měření tepelné vodivosti podle Fitchovy metody

Přístroj pro měření tepelné vodivosti podle Fitcha je založen na proudění tepla z ohřívací nádoby přes zkušební těleso do měrného válce. Používá se především pro měření tepelné vodivosti izolačních materiálů, usní a pryží. Přístroj lze, i přes možné nepřesnosti měření termočlánky, malé teplotní rozdíly a ztráty tepla do okolí, použít na měření vlhkých vzorků. Rozdíl teplot měrného válce a dna ohřívací nádoby se sleduje po stanovenou dobu pomocí zapojených termočlánků na vybraném přístroji.

Samotný přístroj je dvoudílný, válcového typu. Spodní část má uprostřed uložený váleček, přesahující nad horní izolační desku přístroje. Spoj termoelektrického článku je uložen uvnitř válečku, konce válečku jsou upevněny na svorky uchycené na plášti. Celý prostor je tepelně izolovaný proti ztrátám tepla do okolí. Horní část přístroje má tvar válcové nádoby s měděným dnem, ve kterém je umístěn druhý konec termočlánku. Správnou teplotu zajišťuje u ohřívací nádoby termostat.

Zkušební vzorek se položí na měrný válec a pomocí ručního ovládání se sníží ohřívací nádoba tak, aby tlak na měřený vzorek, mezi měrným válcem a dnem nádoby, odpovídal tlaku naměřenému při měření tloušťky vzorku. Po uplynutí doby zkoušky se zaznamená výchylka galvanometru a poté výchylka p_2 . Ohřívací nádoba se uvolní, zvedne nahoru a po ochlazení částí přístroje lze provést další měření [12].

Schéma Fitchova přístroje je znázorněno na obrázku 4 (*Obrázek 4 Schéma přístroje pro měření tepelné vodivosti podle Fitcha*).



- | | |
|----------------------------------|-----------------|
| 1- měděná deska | 4 - krabice |
| 2 – měděný váleček s termočlánky | 5 - galvanometr |
| 3 – dno horní nádoby | |

Obrázek 4 Schéma přístroje pro měření tepelné vodivosti podle Fitche⁴

3.2.2 Měření na přístroji Alambeta

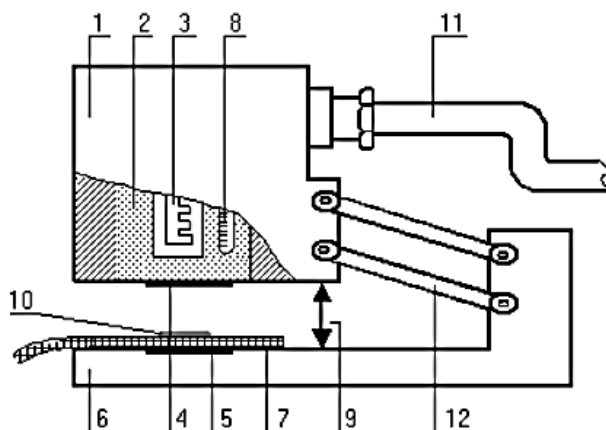
Přístroj Alambeta je počítačem řízený poloautomat, který je schopen spolu s měřením také vyhodnocovat statistické hodnoty naměřených údajů, s vlastním auto diagnostickým programem, který zabraňuje chybným operacím. Pomocí přístroje lze měřit vlastnosti textilií, ať už tkanin či pletenin, jako je tepelná vodivost λ , tepelná jímavost b , tepelný odpor r , tloušťka materiálu h , teplotní vodivost a , maximální tepelný tok q nebo poměr mezi maximálním a ustáleným tepelným tokem p . Lze tedy měřit jak vlastnosti statické, tak dynamické.

Podstatou zkoušky měření tepelných vlastností na přístroji Alambeta spočívá v průchodu tepelných toků $q_1(t)$ a $q_2(t)$ skrz povrch vzorku od neustáleného stavu k ustálenému.

Na základní desku přístroje 6 (spodní část), která je vyhřívána na teplotu okolí, se položí měřený vzorek 5. Hlavice 1, která je vyhřívána na teplotu o cca 10°C vyšší (obvyklá teplota je 33°C, tj. teplota lidského těla), než je teplota okolí, se spustí a snímače tepelného toku 4 a 7 měří tepelné toky mezi jednotlivými povrchy. Současně je změřena i tloušťka materiálu h , jako vzdálenost měřících hlav. Součástí Základní desky přístroje je termostat a teploměr, součástí měřící hlavice je teploměr 8, topné těleso 3, termostat 2 a tepelná izolace. Před vlastním měřením je důležité nejprve nechat měřící hlavici klesnout bez vložení vzorku, kdy si přístroj nastaví tloušťku $h_0=0$.

⁴ Zdroj obrázku: Kuno, Z.: Tepelné izolácie a meranie tepelných ztrát, SNTL, Praha, 1963

Schéma přístroje Alambeta je zobrazeno na obrázku 5 (Obrázek 5 Schéma přístroje Alambeta) [31].



- | | |
|---------------------------|--|
| 1 - hlava přístroje | 6 - spodní část |
| 2 - termostat | 7 - vzorek materiálu |
| 3 - topné těleso | 8 - teploměr |
| 4 - snímač tepelného toku | 9 - prostor mezi hlavou přístroje a spodní částí |
| 5 - vzorek materiálu | 12 - paralelní vedení |

Obrázek 5 Schéma přístroje Alambeta⁵

3.2.3 Thermal Conductivity Analyser – Model C-Therm TCi

Analyzátor tepelné vodivosti TCi je přístroj určený ke zjišťování součinitele tepelné vodivosti textilních struktur převážně plošných textilií. Stanovení tepelných vlastností zkoušených vzorků je časově nenáročné, zobrazení výsledků je okamžité a přístroj tak poskytuje podrobný přehled o materiálu měřeného vzorku. U přístroje není nutná složitá kalibrace ani speciální příprava vzorků, poskytuje široké možnosti měření součinitele sdíleného tepla vedením pevných látek, kapalin, prášků, past a vláknitých vzorků v rozsahu od 0,1 – do 100 [W.m⁻¹.K⁻¹] během velmi krátkého času (cca 5 vteřin). Při doplnění přístroje o teplotní komoru umožňuje přístroj měření v teplotním rozsahu od - 75°C do +200°C.

Přístroj měří tepelnou vodivost λ a tepelnou jímavost e (efusivitu) přímo na základě přechodové roviny a umožňuje dle uživatelem zadaných kritérií spočítat měrnou tepelnou vodivost α a měrnou tepelnou kapacitu C_p .

⁵ Zdroj obrázku: Interní norma č. 23-303-01/01, Zjišťování stupně vlhkostní jímavosti textilií, Výzkumné centrum Textil, Sekce B – Textilní materiály a konstrukce textilních výrobků, TUL, Liberec, 2003

Přístroj používá jednostranný mezi kontaktní teplotně odrazivý snímač, skládající se z měřicího čidla, řídicí elektroniky a PC softwaru. Ve snímači se nalézá topné těleso (čidlo) ve tvaru spirály obemknuté ochranným kroužkem. Vzniklé teplo pak proudí v průběhu testu směrem od senzoru do materiálu. Přesně definovaný proud je aplikovaný na čidlo topného tělesa, které následně produkuje malé množství tepla. Výsledkem je pak nárůst teploty na rozhraní mezi senzorem a vzorkem (obvykle je menší než 2°C). Tento nárůst teploty na rozhraní snímače vyvolá změnu, úbytek napětí čidla. Tempo růstu napětí ve snímači se používá k určení tepelně fyzikálních vlastností materiálu vzorku. Tepelná vodivost vzorku je nepřímo úměrná tempu růstu napětí na snímači. Čím je materiál více tepelně izolační, tím strmější je nárůst napětí. Přenos tepla je závislý také na parametrech, jako je druh materiálu, povrch materiálu, smáčivost, aj. [15]

Před samotným testováním je třeba nejprve připravit samotné vzorky, přičemž se doporučuje používání rukavic, aby se zamezilo tepelné kontaminaci zkoušených vzorků. Vzorek se umístí na senzor a vybere se vhodná zkušební metoda, která popisuje parametry měření (typ měření, úroveň, časové nastavení a počet měření). Používá se vždy takové zkušební metoda, která odpovídá úrovni testovaného materiálu. Po spuštění testu zobrazuje výsledky okamžitě softwarový program na připojeném PC. V průběhu testu je nutné kontrolovat hodnotu R^2 pro každé měření, jelikož R^2 s hodnotou nižší jako 0,995 se považuje za neplatné. Důležité je také zajištění stabilní polohy a dobrého kontaktu senzoru a měřeného vzorku. V případě, že je hodnota tepelné vodivosti nebo tepelné jímavosti mimo kalibrační rozsah materiálové skupiny, příslušná buňka v programu, která tuto hodnotu zobrazuje, se zabarví oranžovou barvou.

Výsledné hodnoty jsou zobrazeny po zadání hustoty tepelné jímavosti, některé hodnoty jsou zobrazeny již po jejím vložení.

Tepelná jímavost se vypočítá porovnáním odezvy senzoru s kalibrační hodnotou výrobce.

Tepelná vodivost se vypočítá porovnáním odezvy senzoru s kalibrační hodnotou výrobce.

Měrná tepelná vodivost se vypočítá pomocí naměřené „ k “, měrné tepelné kapacity a hustoty.

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad [\text{m}^2/\text{s}], \quad (26)$$

kde k je tepelná vodivost, ρ je objemová hmotnost, a C_p je tepelná kapacita. Objemová hmotnost je veličina, která musí být pro tento výpočet zadána. Tepelná kapacita může být zadána nebo vypočítána, pokud je známa objemová hmotnost.

Nepřímá tepelná vodivost se vypočítá z naměřené tepelné jímavosti a vložení měrné tepelné kapacity a hustoty. Obě tyto hodnoty se musí do vzorce doplnit.

$$k = \frac{e^2}{\rho \cdot c_p} \quad [\text{W/m.K}] \quad (27)$$

Měrná tepelná kapacita se vypočítá z naměřené tepelné jímavosti, tepelné vodivosti a hustoty.

$$c_p = \frac{e^2}{k \cdot \rho} \quad [\text{J/kg/K}] \quad , \quad (28)$$

kde e je tepelná jímavost, a ρ je objemová hmotnost. Objemová hmotnost je v tomto případě veličina, která musí být zadána, tepelná vodivost a tepelná jímavost musí být k dispozici pro výpočet.

Hloubka průniku tepla se vypočítá z měrné tepelné vodivosti a času.

$$d = \sqrt{4 \cdot \alpha \cdot t} \quad [\text{m}], \quad (29)$$

kde α je měrná tepelná vodivost a t je čas kalibrace tepelné vodivosti. Hodnoty teplotní vodivosti, tepelná kapacity nebo hustoty musí být pro tyto výpočty zadány.

Tepelný odpor se vypočítá z tepelné vodivosti a hloubky průniku tepla. Tato vlastnost se aplikuje pouze u izolačních materiálů.

$$R = \frac{d}{k} \quad [\text{m}^2.\text{K/W}], \quad (30)$$

kde k , je tepelná vodivost a d je tloušťka materiálu (hloubka proniknutí) [15].

Povrch senzoru C-Therm TCi je zhotoven z tuhého materiálu a přímým dotykem s ním lze měřit kapaliny, prášky a pasty. Pro kontakt s tuhými látkami je však nutné zmínit možnost přechodového odporu, pro jehož minimalizaci se používají kontaktní látky. Kontaktní látky mají korekční faktory a chrání před negativními vlivy měření [15].

4 FYZIOLOGICKÉ VLASTNOSTI ODĚVŮ PŘI UŽÍVÁNÍ ČLOVĚKEM

4.1 Komfort

Komfort je jistý stav organismu, subjektivně vnímaná pohoda, pohodlí spojené s určitým dostatkem. Komfortem nazýváme také stav, kdy jsou fyziologické funkce člověka v optimální rovnováze a kdy na ně vnější okolí nevytváří negativní vlivy. Lze jej tedy definovat jednoduchým způsobem „Komfort je pocit, kdy se cítíme dobře“. Fyziologické funkce našeho organismu jsou tedy optimální. Komfort vnímáme téměř všemi lidskými smysly kromě chuti. Především tedy hmatem, ale i zrakem, sluchem a čichem. [2]

Základní a přesněji definované požadavky vždy vychází ze skutečnosti, situace a účelu, k jakému je oděv nebo jiný hotový oděvní nebo textilní výrobek pořizován. Pokud bychom chtěli pro definici komfortu použít jasného ukazatele, lze jej nejlépe definovat například ve vztahu k oděvu.

Oděv samotný by nás měl chránit před zimou a před teplem, což představuje tepelný komfort. Pokud nám oděv umožňuje volně dýchat, což znamená, že při jeho nošení není na těle přítomen kapalný pot, pak hovoříme o prostupu vzduchu, vodních par a vlhkosti. Pro zajištění energetické bilance lidského těla je oděv vždy v součinnosti s organismem a okolním prostředím. Nelze opomenout také důležité splnění estetické stránky, která má podtrhovat naši osobnost. Sami si přitom určujeme, zda chceme být současně výrazně odlišeni od ostatních či nikoliv. Tento typ komfortu je spojen především s postojem člověka k životu, jeho žebříčkem hodnot a zařazením do sociálních vrstev. V neposlední řadě je také kladen velký důraz na hygienické vlastnosti, které mají za úkol zajistit, aby pokožka při užívání oděvu nebyla drážděna.

4.2 Optimální podmínky komfortu

Ke správnému chápání subjektivního pocitu komfortu je třeba brát v úvahu systém organismus – oděv, případně textilie, která nás má chránit, jako otevřený systém, který je vždy ve stavu dynamické interakce s okolním prostředím.

Pro dosažení optimálních podmínek komfortu je nutné, aby okolní prostředí splňovalo následující kritéria:

- | | |
|--|----------------------------|
| • Teplota pokožky | 33,2 ± 1°C |
| • Relativní vlhkost okolního prostředí | 50 ± 10% |
| • Rychlost proudění vzduchu | 25 ± 10 cm·s ⁻¹ |

- Nepřítomnost vody na pokožce
- Obsah CO₂ 0,07%

Dále může být ovlivněn také následujícími faktory:

- fyzikálními procesy s okolním prostředím (transport tepla, vlhkosti a vzduchu, mechanické působení mezi oděvem nebo textilií a pokožkou).
- fyziologickými procesy uvnitř organismu (metabolické a termoregulační procesy)
- neurofyziologickými procesy (procesy mozku hodnotí celkový pocit na základě předchozích zkušeností).

Komfort textilií zahrnuje také fyziologické vlastnosti (propustnost vodních par, vzduchu, vody a tepla), mechanické a tepelné vjemy v místech kontaktu s pokožkou lidského těla a hygienické vlastnosti jako nedráždivost pokožky lidského těla a nízký obsah nebezpečných látek. Subjektivně lze vnímat také nepříjemné fyziologické pocity, které mohou být způsobeny například zvlhčením pokožky těla potem, nebo nerovnoměrné tepelné pocity. Tyto jevy označujeme jako fyziologický diskomfort.

4.3 Rozdělení komfortu

Komfort, který zajišťuje příjemné pocity a pohodlí při užívání a zajišťuje optimální stav fyziologických funkcí organismu, lze dále rozdělit na komfort:

- psychologický
- funkční
- senzorický
- patofyziologický
- termo-fyziologický

Psychologický komfort ovlivňuje současně několik hledisek, především individualita člověka, kulturní a sociální vlivy. Je zde potřeba zmínit také klimatické podmínky, které jsou podmíněné geografickou polohou, ve které se člověk nachází, dále také ekonomické a módní vlivy, vlivy stresových situací, tradice, zvyky a náboženství. Odvíjí se tedy od daného jednotlivce nebo skupin jednotlivců.

Funkční komfort je ovlivněn vlivy, které jsou dané především vlastnostmi daného materiálu, jeho konstrukcí.

Senzorický komfort zahrnuje vjemy a pocity získané při kontaktu pokožky s textilií. Tyto vjemy mohou být mechanické nebo tepelné a jsou to především vjemy v místech kontaktu textilie s lidskou pokožkou, přičemž velký vliv na tento komfort mají všechny vrstvy textilie. Podílejí se tak na vzniku kontaktního vjemu a závisí zde především na otku, tuhosti, tloušťce, povrchových vlastnostech, vzhledu, hmotnosti, aj.

Patofyziologický komfort představuje odolnost a reakce na působení chemických substancí obsažených v textilním materiálu na lidskou pokožku. Představuje také odolnost lidské pokožky na působení různých bakterií a plísňů, které mohou být v textilií obsaženy. Aplikací různých baktericidních, hygienických a finálních úprav na textilie, lze toto působení na pokožku minimalizovat.

Termo-fyziologický komfort je složkou funkčního komfortu, který je dán především vlastnostmi a konstrukcí textilie. Souvisí s transportními vlastnostmi vzduchu, kapalně vlhkosti a tepla společně s prouděním vzduchu. Zajišťuje vyváženou tepelnou bilanci organismu, ochraňuje proti chladu, teple a odvádí vlhkost. Kritériem pro fyziologický komfort je stav, kdy organismus produkuje takové množství tepla, které současně transportuje beze zbytku do okolí bez zapojení termoregulačních mechanismů [7].

4.4 Termoregulace organismu

Termoregulace organismu je schopnost organismu zajišťovat rovnováhu mezi množstvím tepla vytvořeného a tepla odevzdaného do okolního prostředí za účelem zachování stálé tělesné teploty. Je to samoregulační systém, jehož řídicím centrem termoregulace je centrální nervový systém organismu. Tepelnou bilanci organismu ovlivňují také faktory okolního prostředí, osobní faktory, tělesná kondice, pohlaví, věk, aj.

Při obvyklé činnosti a normálních podmínkách se teplota organismu pohybuje okolo 36 - 37°C a kolísá v rozmezí $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Teplota kůže se pohybuje okolo 35°C. Podmínkou je okolní teplota 20°C a vlhkost vzduchu cca 65%. Tato teplota zajišťuje správnou funkci všech tělesných orgánů a reakcí, které v nich probíhají. Za podchlazení se u člověka považuje pokles teploty tělesného jádra pod 35 °C.

Teplota povrchu těla však není v průběhu dne a na všech místech stejná, různá místa na těle mohou vykazovat různou teplotu, která je ovlivněna termoregulačními procesy, transportem tepla a vlhkosti (vnitřní faktory), teplotou a vlhkostí klimatu,

oděvním mikroklimatem nebo použitým textilním materiálem (vnější faktory). Jako ukazatel tepelného stavu organismu slouží teplota kůže a její topografie. Různým subjektivně vnímaným tepelným pocitům člověka odpovídají hodnoty teploty kůže (*Tabulka 1 Teplota kůže a tepelné pocity*) [7].

Tabulka 1 Teplota kůže a tepelné pocity

Tepelné pocity	<i>velmi horko</i>	<i>horko</i>	<i>teplo</i>	<i>klid (pohoda)</i>	<i>chladno</i>	<i>zima</i>	<i>velká zima</i>
Teplota kůže (°C)	nad 36,00	36,0 ± 0,6	34,9 ± 0,7	33,2 ± 1,0	31,1 ± 1,0	29,1 ± 1,0	pod 28,1

Mezi mechanismy termoregulace se řadí termoregulace chemická a fyzikální. Tvorbu tepla, které se uvolňuje při oxidačních dějích látkové výměny, řídí chemická termoregulace. Fyzikální termoregulace zabezpečuje předání tepla produkovaného organismem do okolního prostředí prostřednictvím sálání, vedení, proudění a pocení.

Vlivy termoregulačních mechanismů, jejich aktivace a požadovaný efekt uvádí tabulka 2 (*Tabulka 2 Vliv termoregulačních mechanismů*) [7].

Tabulka 2 Vliv termoregulačních mechanismů

Termoregulační mechanismus	Požadovaný efekt	Aktivace
Zvýšený svalový tonus Svalový třes Chemická termoregulace Zvýšený příjem potravy Termoregulační chování	Zvýšení produkce tepla	Chlad
Vazokonstrikce - omezení průtoku krve Snížení výdeje tepla povrchem těla	Snížení tepelných ztrát	
Snížení svalového tonu Snížení tělesné aktivity Snížení příjmu potravy Snížení sekrece hormonu THS	Snížení produkce tepla	Teplo
Vazodilatace - zvýšení průtoku krve Pocení Intenzivní dýchání Termoregulační chování	Zvýšení výdeje tepla	

K udržování stálé tělesné teploty je nutné, aby byl celý systém v tepelně ustáleném stavu. Tepelné rovnováhy lze dosáhnout koordinací pochodů zaměřených na tvorbu tepla v organismu (produkci tepla) a odvod tepla (přestup tepla). Obecně lze tepelnou rovnováhu člověka vyjádřit rovnicí:

$$Q_{tt} + Q_{tz} = Q_s + Q_{pr} + Q_{ved} + Q_{od} + Q_{odc} + Q_{op} + Q_{ov} \pm \Delta Q, \quad (31)$$

kde

Q_{tt} je tvorba tepla v organismu [J]

Q_{tz} vnější tepelné zatížení, např. slunečním zářením [J]

Q_s tepelné ztráty sáláním [J]

Q_{pr} tepelné ztráty prouděním [J]

Q_{ved} tepelné ztráty vedením [J]

Q_{od} tepelné ztráty v důsledku odpařování difúzní vlhkosti z povrchu pokožky [J]

Q_{odc} tepelné ztráty v důsledku odpařování vlhkosti z horních cest dýchacích [J]

Q_{op} tepelné ztráty odpařováním potu [J]

Q_{ov} tepelné ztráty na ohřev vydechovaného vzduchu [J]

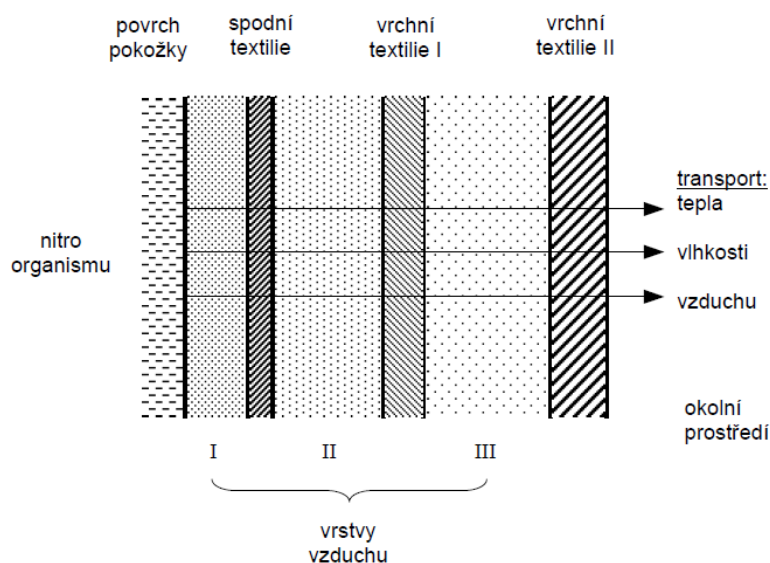
ΔQ změna tepelného stavu organismu proti stavu tepelné pohody – deficit tepla [J]

Všechny složky rovnice tepelné rovnováhy jsou uvedeny za jednotkový čas T [s], tzn. $J s^{-1} \equiv W$ [7].

4.5 Transport tepla, vlhkosti a vzduchu soustavou člověk – oděv – prostředí

Oděvní systém zahrnuje nitro organismu jako zdroj tepla a vlhkosti, povrch pokožky, několik oděvních mezivrstev a mikroklima, které vytváří oděv nebo textilie kolem těla. Každá samostatná mezivrstva se skládá z vrstvy vzduchu, vrstvy textilie a vrstvy vzduchu uzavřené v textilií. Všechny vrstvy se účastní transportu vzduchu, vlhkosti a tepla, přičemž stav a fyzikální vlastnosti každé jednotlivé vrstvy ovlivňují vlastnosti vrstvy následující. Uzavřenou oblast mezi textilií a pokožkou lze z obecného hlediska definovat jako mikroklima, které je závislé na tepelném stavu organismu, klimatických poměrech vnějšího prostředí a na vlastnostech textilie, která pokožku lidského těla pokrývá. Příímým způsobem ovlivňuje subjektivní pocity člověka.

Schéma oděvního systému představuje zakreslení na obrázku 6 (*Obrázek 6 Schéma oděvního systému*). Z hlediska tepelného komfortu je nejdůležitějším ukazatelem udržení optimální teploty mikroklimatu, tedy vhodným výběrem materiálu docílit udržení teploty v chladu (dostatečný tepelný odpor), při větrných podmínkách zajistit optimální prodyšnost, či v případě vyšší produkce tělesného tepla, v důsledku zvýšené tělesné aktivity, zajistit optimální odvod přebytečného tepla [7].



Obrázek 6 Schéma oděvního systému⁶

Aby byl docílen stav fyziologického komfortu, musí se vlhkost vzduchu pohybovat v rozmezí 35 – 60%. V případě, že je ve vrstvě mikroklimatu vyšší teplota, může být tato vlhkost o něco nižší než je vlhkost okolního prostředí. Důležitým faktorem je přitom schopnost odvodu vody z povrchu lidského těla do okolního prostředí. Nepříjemné subjektivní pocity a narušení výměny tepla s okolním prostředím může být způsobeno také překročením hladiny oxidu uhličitého v prostoru mezi pokožkou a textilií. Jeho odstranění se provádí větráním, jehož intenzita přímo závisí na prodyšnosti a konstrukci textilie, přičemž pod jednovrstvou textilií pokrývajícím lidské tělo je jeho koncentrace nižší než u textilie vícevrstvé.

4.6 Sdílení tepla mezi organismem a okolím

Energie nespotřebovaná k udržení stálé tělesné teploty a bazálního metabolismu se přeměňuje v energii tepelnou. Tato tepelná energie je z organismu odváděna především povrchem těla a to sáláním (radiací), vedením (kondukcí), prouděním (konvekci), odpařováním vody z povrchu lidského těla a dýcháním (respirací).

Jak bylo popsáno výše, sdílení tepla je proces, v průběhu kterého dochází k předávání tepla z míst s vyšší teplotou do míst s teplotou nižší. Podmínkou pro toto sdílení je teplotní spád ΔT [7].

⁶ Zdroj obrázku: www.kod.tul.cz [online], 2009, [cit. 10. 9. 2013]. Fyziologické vlastnosti oděvních materiálů I., Dostupné z http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska7_2012.pdf

4.6.1 Sdílení tepla sáláním

Přenos tepla sáláním představuje přenos tepla vznikající při přenosu energie elektromagnetickými vlnami mezi zdrojem a příjemcem, respektive je založen na energii, která prostupuje skrze textilní vrstvu. Toto teplo je zčásti textilií pohlceno a z části skrze textilií prochází. U slunečního záření má na množství pohlceného a odraženého záření vliv barva a struktura textilie [7].

Z míst, která nejsou textilií chráněny, je odváděno až 60% celkového tepla. Množství ztráty tepla sáláním lze vyjádřit rovnicí, přičemž záleží na zevní teplotě, ploše a koeficientu sálání [7].

$$Q_s = \alpha_s \cdot S \cdot \left[\left(\frac{273 - \vartheta_K}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + \vartheta_0}{100} \right)^4 \right], \quad (32)$$

kde

α_s součinitel sálání [$\text{Wm}^{-2}\text{°C}^4$]

ϑ_0 teplota okolního prostředí [°C]

ϑ_K teplota pokožky [°C]

S plocha, kde dochází k odvodu tepla [m^2].

4.6.2 Sdílení tepla vedením (kondukcí)

Sdílení tepla vedením probíhá při kontaktu pokožky s chladnějším prostředím, resp. s textilií. Teplo sdílené vedením se přenáší především mezi pokožkou a vrstvou textilie, která má přímý kontakt s pokožkou. Tato textilní vrstva, která se svou plochou přímo dotýká pokožky, zároveň teplo odnímá kontaktním způsobem. Množství odváděného tepla lze vyjádřit množstvím tepla Q_v [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$], které projde stěnou o ploše S za dobu t [7].

$$Q_v = -\lambda \cdot \frac{\vartheta_K - \vartheta_i}{h} \cdot S \cdot t, \quad (33)$$

kde

λ součinitel tepelné vodivosti soustavy vrstev oděvu

ϑ_K teplota pokožky [°C]

ϑ_i teplota venkovní vrstvy oděvu [°C]

h tloušťka textilní vrstvy [mm]

S plocha, kde dochází k odvodu tepla [m^2]

t čas, za který dochází k odvodu tepla [s].

4.6.3 Sdílení tepla prouděním (konvekci)

Sdílení tepla prouděním je nejvýznamnější způsob přenosu tepla. Mezi pokožkou a první vrstvou textilie vzniká uzavřená oblast – mikroklima, ve které dochází pouze k částečnému proudění a k poklesu tepla. Transport tepla je způsoben pohybem částic tekutin. Množství ztráty tepla prouděním lze vyjádřit dle následujícího vzorce, přičemž záleží na tloušťce vrstvy a pohybu organismu [7].

$$Q_p = \alpha_p \cdot S \cdot [(\vartheta_k - \vartheta_i) + (\vartheta_2 - \vartheta_0)], \quad (34)$$

kde

- α_p součinitel přestupu tepla
- ϑ_0 teplota okolního prostředí [°C]
- ϑ_i teplota vnější strany textilie [°C]
- ϑ_2 teplota vnitřní strany textilie [°C]
- S plocha kde dochází k odvodu tepla.

4.6.4 Sdílení tepla odpařováním (evaporace)

U sdílení tepla evaporací (odpařováním) závisí především na množství měrného výparného tepla a parciálních tlaků vodních par. Jedná se o jediný způsob výdeje tepla v podmínkách přehřátí organismu, který závisí na teplotě okolního prostředí. Čím nižší je relativní vlhkost, tím rychleji se kapalina odpařuje do okolního prostředí [7].

Množství tepla, které odchází z pokožky neznatelným pocením (odparné teplo Q_0) lze vyjádřit dle vzorce:

$$Q_0 = \Delta i \cdot m_k \cdot S \cdot (P_K - P_0), \quad (35)$$

$$P_K > P_0. \quad (36)$$

kde

- Δi měrné výparné skupenské teplo [J],
- m_k permeabilita kůže [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{Pa}^{-1}$],
- P_K parciální tlak kůže [Pa],
- P_0 parciální tlak okolí [Pa].

4.6.5 Sdílení tepla dýcháním (respirace)

Odvod tepla je zde realizován dýchacími cestami a jeho množství je dáno rozdílem vodních par vdechovaných a vydechovaných. Množství ztrát tepla dýcháním (respirací) lze vyjádřit následujícím způsobem:

$$Q_D = \Delta_i \cdot (W_{ex} - W_a) \cdot \frac{1}{t}, \quad (37)$$

kde

Δ_i měrné výparné skupenské teplo [J],

W_{ex} množství vodních par vdechovaných [kg],

W_a množství vodních par vydechovaných [kg],

t čas [s].

4.7 Odvod vlhkosti z povrchu lidského těla

Pro zachování především hygienického komfortu a správné termoregulace organismu je velmi důležitá schopnost transportu vznikajících vodních par od organismu do okolního prostředí. U organismu, který je pokryt textilií (např. oblečený organismus) je vlhkost odváděna kapilárním odvodem vlhkosti, migračním odvodem vlhkosti, difúzním odvodem vlhkosti a sorpčním odvodem vlhkosti.

Při kapilárním odvodu vlhkosti je vyprodukovaný pot v kapalném stavu odebírán první textilní vrstvou pokrývající pokožku a knotovým efektem odváděn všemi směry do plochy textilie. Intenzita přestupu je dána tlakovým spádem ΔP a závisí na smáčecí schopnosti textilie a povrchovém napětí vláken a potu.

Vlhkost může na povrchu vláken také migrovat. K tomuto jevu dochází v případech, kdy se vlhkost kondenzuje na povrchu vláken a nazýváme jej migrační odvod vlhkosti.

K difúznímu odvodu vlhkosti dochází prostřednictvím pórů v textiliích. Čím větší je velikost pórů textilie, tím je odvod vlhkosti vyšší, přičemž jednotlivé vrstvy textilie nemusí mít stejný difúzní odpor. Vliv na difúzní odpor mají vlákenné suroviny, z nichž jsou jednotlivé textilie vyrobeny. Příkladem je změna geometrie vláken v důsledku bobtnání.

Sorpční odvod vlhkosti předpokládá, že je textilie složena alespoň z části sorpčních vláken. Sorpcí se rozumí proniknutí vlhkosti do struktury vláken a její navázání na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře.

Všechny výše uvedené způsoby odvodu vlhkosti jsou uskutečňovány současně, přičemž nejrychlejší odvod vlhkosti zajišťuje kapilární odvod, který zajišťuje rychlejší ochlazování povrchu těla. Pro zajištění optimální kombinace z hlediska fyziologického komfortu se jako nejvhodnější jeví difúzní a sorpční odvod vlhkosti.

5 HODNOCENÍ FYZIOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ

Ať se jedná o běžné denní činnosti, sport či spánek nebo v jakékoliv jiné situaci, má vždy každý člověk potřebu cítit se příjemně. Tento pocit nám při těchto činnostech zajišťují fyziologické vlastnosti textilií.

Lidské tělo nemá na celém svém povrchu stejnou teplotu, z toho důvodu musí textilie, které jeho povrch pokrývají, přenášet mimo tepla také vlhkost a vzduch. Rychlost pohybu je přitom v mezivrstvách proměnná. Fyziologické komfort představují transportní vlastnosti nebo vlastnosti propustnosti. Předpokladem je umístění materiálu ve fyzikálním prostředí s různou intenzitou na obou jeho stranách, přičemž záleží také na velikosti tlakového teplotního gradientu.

Podle druhu prostupujícího média rozeznáváme fyziologické vlastnosti:

- propustnost vodních par $[\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{Pa} \cdot \text{W}^{-1}]$;
- propustnost vzduchu – prodyšnost $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$;
- propustnost tepla – tepelně izolační vlastnosti $[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$, $[\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}]$;
- propustnost vody – nasákavost, smáčivost, vzlínavost [%], st. et. [mm] [18].

5.1 Propustnost vodních par

Propustnost vodních par je schopnost plošné textilie propouštět vlhkost v podobě vodní páry z prostoru uzavřeného textilií. [5] Tento stav je podmíněn rozdílným parciálním tlakem vodních par před a za textilií, přičemž se měření provádí při konstantním barometrickém tlaku.

Výsledky měření jsou kombinované, jelikož při prostupu vodních par nedochází pouze k samotnému prostupu ale také k absorpci vlhkosti dovnitř textilie. Propustnost vodních par a současná absorpce dovnitř textilie je závislá na druhu a vlastnostech textilie, struktuře textilie (pórovitost, vazba, povrchová úprava), mikroklimatu nebo tlaku. Produkce tělesné vlhkosti není za každých podmínek stejná, závisí na činnosti, kterou člověk provádí a následné fyzické zátěži a na teplotě organismu.

Měření propustnosti vodních se provádí pomocí exsikátoru, znázorněného v části obrázku 7 (*Obrázek 7 Měření propustnosti vodních par*), ve kterém je uložena nádoba s vodou, nad jejíž hladinou je natažena měřená textilie. Tlakový spád vodních par je zajištěn pomocí vysušeného silikagelu umístěného na dně exsikátoru, který absorbuje veškeré vodní páry v prostředí. Parciální tlak vodních par nad hladinou vody

se snaží vyrovnat parciálnímu tlaku okolí a tím dochází k prostupu vodních par textilií. Množství par prošlých za jednotku času textilií se vyjádří změnou hmotnosti vody v nádobce před a po zkoušce [18].

Vyjadřuje se vztahem:

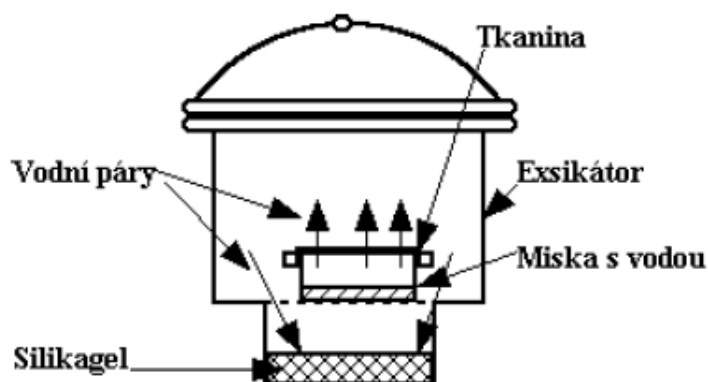
$$M_v = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 10^2 \quad (38)$$

kde

M_v je množství vodních par prošlých textilií [%]

m_1 je množství vody v misce před zkouškou [g]

m_2 je množství vody v misce po zkoušce [g]



Obrázek 7 Měření propustnosti vodních par⁷

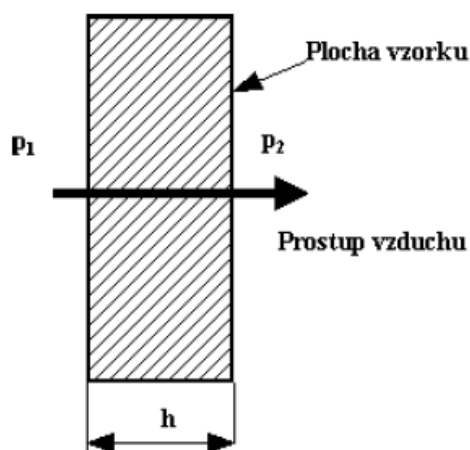
5.2 Propustnost vzduchu – prodyšnost

Prostup vzduchu textilií, prodyšnost, je vlastnost, která ovlivňuje fyziologický komfort textilií zásadním způsobem. Současně se vzduchem textilií prostupuje také vlhkost a teplo. Obdobně jako u prostupu tepla, lze zde také hovořit o určitém gradientu prostupu, který nazýváme tlakový spád [18].

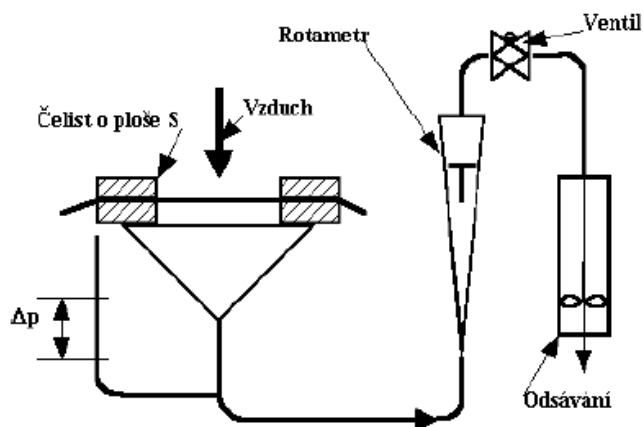
Tlakový spád je rozdíl tlaků před a za textilií. Tlak před textilií je větší, než tlak za textilií $p_1 > p_2$. Rozdíl tlaků před a za textilií – tlakový spád, znázorňuje obrázek 8 (Obrázek 8 Prostup vzduchu). Za předpokladu klimatizovaných vzorků a měření za normalizovaných podmínek (teplota 20°C a 65% vlhkosti) nebude docházet v textiliích ke změnám (jejímu vysušování nebo zavlhčování) a děj při měření bude stacionární [18].

⁷ Zdroj obrázku: www.ft.tul.cz/depart/ktm [online], 2005, [cit. 15. 4. 2013]. Vybrané kapitoly z textilního zkušebnictví, dostupné z [www: http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/TextilniZkusebnictvi.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/TextilniZkusebnictvi.pdf)

Přístroj pro měření prostupu vzduchu znázorněný na obrázku 9 (Obrázek 9 Přístroj pro měření prodyšnosti) sestává z ventilátoru, který odsává vzduch z čelisti, v níž je upnut vzorek textilie. Čelist má kruhový charakter o definované ploše. Množství nasávaného vzduchu při nastaveném tlakovém spádu Δp je měřeno tzv. rotametrem, což je trubice o přesně stanovené světlosti (vnitřním průměru), ve které je umístěn plováček. Podle výše plováčku v trubici se stanoví množství vzduchu, které prošlo textilií. Podle norem se nastavuje pro tlakový spád 100 Pa při ploše čelisti 20 cm². Prodyšnost textilie je v úzké závislosti s pórovitostí textilie.



Obrázek 8 Prostup vzduchu⁸



Obrázek 9 Přístroj pro měření prodyšnosti⁹

⁸ Zdroj obrázku: www.ft.tul.cz/depart/ktm [online], 2005, [cit. 15. 4. 2013]. Vybrané kapitoly z textilního zkušebnictví, dostupné z [www: http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/TextilniZkusebnictvi.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/TextilniZkusebnictvi.pdf)

⁹ Zdroj obrázku: www.ft.tul.cz/depart/ktm [online], 2005, [cit. 15. 4. 2013]. Vybrané kapitoly z textilního zkušebnictví, dostupné z [www: http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/TextilniZkusebnictvi.pdf](http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/TextilniZkusebnictvi.pdf)

5.3 Prostup tepla

Jak bylo uvedeno v kapitolách výše, prostupem tepla se rozumí především množství tepla, které projde plošnou textilií kolmým směrem k textilii. Rychlost průniku tepla textilií určuje hodnota tepelného spádu, tzv. Gradient teploty.

$$\text{grad } \vartheta = \frac{d\vartheta}{dh} = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{h} \quad (39)$$

kde

ϑ_1 teplota na jedné straně textilie

ϑ_2 teplota na druhé straně textilie

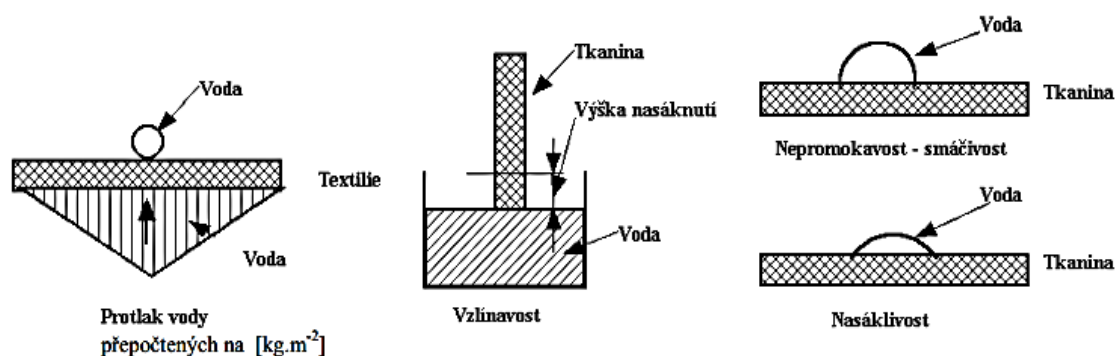
h tloušťka textilie.

Odvod (šíření) tepla vyjadřuje záporný gradient. Z něj se poté počítá hodnota tepelného toku. Způsoby prostupu tepla textiliemi a prostup tepla v mezivrstvách pokožka – oděv, je popsán v kapitolách výše, zaměřených na mechanismy sdílení tepla a způsoby jejich měření. U textilií, které patří do vrstev a mezivrstev se místně i časově proměňuje, je nestacionární. Důvodem je nestatejná teplota lidského těla na celém jeho povrchu, která zapříčiní, že je textilie nucena kromě tepla transportovat také vzduch. Rychlost vzduchu je v tomto případě ve všech mezivrstvách také proměnná (při klidném dýchání byla změřena rychlost pohybu vzduchu v mezivrstvě na hrudníku člověka v úrovni 3 m.s⁻¹ [18]).

Měření prostupu tepla jsou podrobněji věnovány vybrané kapitoly výše. Způsob a typ přístroje pro vlastní měření je závislý na typu prostupu tepla textilií. Jak již bylo uvedeno, pro materiály, jež jsou tepelnými izolanty, jsou více vhodné metody dynamické, pro materiály s dobrou tepelnou vodivostí, metody statické.

5.4 Propustnost vody

Propustnost vody představuje jev, kdy se voda na textilii usazuje (smáčivost), do textilie vniká (vzlínavost nebo nasákavost) nebo voda textilií samovolně nebo pod tlakem proniká. Schéma všech zmíněných jevů průniku vody znázorňuje obrázek 10 (*Obrázek 10 Způsoby průniku vody textilií*) [18].



Obrázek 10 Způsoby průniku vody textilií¹⁰

Každý z uvedených způsobů průniku vody textilií používá vlastní metodu hodnocení. Metoda měření smáčivosti spočívá v měření úhlu smáčení a používá se většinou pro posouzení, jak účinné jsou vodoodpudivé úpravy na textiliích. Čím je úhel smáčivosti menší, tím větší je smáčivost povrchu textilie. Pokud je úhel větší jak $90^\circ C$, pak se jedná o textilii nesmáčivou. Pokud bychom chtěli simulovat chování textilie při skutečném smáčení proudem kapek vody, pak použijeme metodu umělého deště, která v nánosu sprchy kapek vody na textilii upevněnou v kruhové čelisti, které je skloněna o zvolený úhel.

Textilie mohou také absorbovat kapalnou vodu do své struktury. Tento jev nazýváme nasákavost, které může probíhat smočením textilie po celé ploše, kapkovou metodou nebo vzlínavostí.

5.5 Kombinované metody stanovení prostupu médií textiliemi

V současné době se pro hodnocení fyziologických vlastností používají také metody, které jsou schopny se více přizpůsobit skutečným podmínkám při užívání oděvů člověkem. Tyto metody jsou označovány jako umělá pokožka, tepelné figuríny nebo jejich předchůdce potící se torzo. Pro specifické aplikace se používají také modely horních nebo dolních končetin. Mohou vykonávat činnosti shodné s činností skutečného člověka, a při jejich výkonu je možné nastavit parametry prostředí (teplo, vlhkost, proudění vzduchu). Jejich největší výhodou je provádění více variant zkoušek v současně a v krátkém čase [18], [19].

¹⁰ Zdroj obrázku: www.ft.tul.cz/depart/ktm [online], 2005, [cit. 15. 4. 2013]. Vybrané kapitoly z textilního zkušebnictví, dostupné z www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/TextilniZkusebnictvi.pdf

5.6 Měření tloušťky

Pro měření tloušťky se používá tloušťkoměrů. Pro měření tloušťky textilií, stanovené jako kolmé vzdálenosti mezi základní deskou se využívá Digitálního tloušťkoměru SDL M034A.

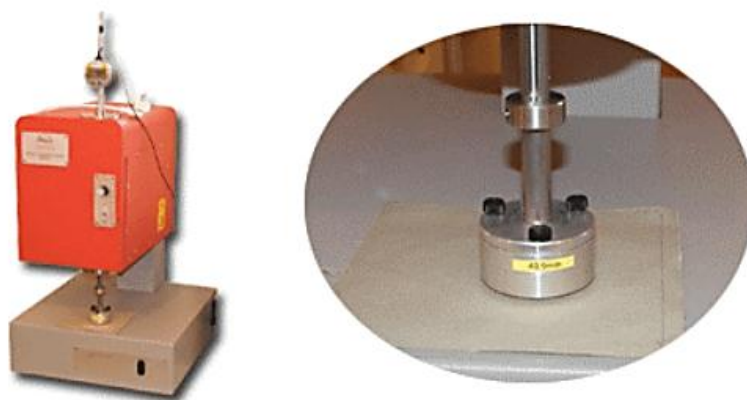
Na základní desce je umístěn vzorek. Specifický přítlak na zkoušenou textilií vyvíjí paralelní kruhový přítlačný kotouč. Přístroj je vybaven dvěma přítlačnými hlavicemi o rozměrech 20 a 100 cm². Při měření je možno aplikovat sílu 0,1 – 200N. Měření na tomto typu přístroje odpovídá normě ČSN EN ISO 5084 (80 0844) Textile – zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků [23].

Velikost měřeného vzorku není pro tento přístroj přímo specifikovaná, nicméně velikost vzorku by měla být větší než je velikost přítlačné patky a neměly by být nijak poškozeny. Samotný průběh měření a zpracování výsledků je řízeno pomocí počítačového software. Pro rychlý export výsledků je přístroj vybaven tiskárnou.

Při provádění nové zkoušky je vždy nutné nejdříve, v PC software i na měřidle, zadat jednotky pro zatížení (Pascal, libra na čtverečný palec, gram) a jednotky pro tloušťku (palec, milimetr). Dalším z důležitých úkonů je nastavení ukládání naměřených dat, volba přítlačné plochy a velikosti přítlaku. Poté se nadzvedne přítlačná patka přístroje tak, aby vznikl dostatečný prostor pro vložení vzorku. Hodnoty hmotnosti vzorku je nutno eliminovat od měření, a to vynulováním hodnoty zátěže. Poté se vzorek vyjme a přítlačná patka se spustí asi 1mm nad měřicí základnu a za pomoci dvoupolohového ovladače, pro polohu nahoru a dolů, se nastaví správný přítlak. Přítlačná patka působí na vzorek velmi pozvolna až do momentu zajištění správného signálu. Poté je z počítače vydán zvukový signál, který oznamuje ukončení zkoušky a na obrazovce počítače se zobrazí výsledky měření. V případě, že však výsledky neodpovídají předpokládaným hodnotám, je možné zkoušku opakovat bez jejich akceptování. Po ukončení měření se zobrazí statistická analýza.

Měření je vyhodnoceno v instalovaném software na připojeném počítači. Výsledkem měření jsou hodnoty průměrné tloušťky textilie, směrodatná odchylka, variační koeficient a výsledná průměrná hodnota tlaku působícího na textilií.

Měření tloušťky vzorků bylo provedeno na digitálním tloušťkoměru SDL M034 A, který je znázorněn na obrázku 11 (Obrázek 11 Digitální tloušťkoměr SDL M034 A). Výsledky měření byly v dalším experimentu využity pouze u měření na přístroji CTherm Tci pro porovnání výsledných hodnot tepelného odporu bez zatížení vzorku a se zatížením o velikosti 50g.



Obrázek 11 Digitální tloušťkoměr SDL M034 A¹¹

¹¹ Zdroj obrázku: Manuál k přístroji SDL M034 A – Digitální tloušťkoměr, TUL, Liberec

6 VÝPLŇOVÉ MATERIÁLY

Lidské tělo spotřebuje v klidovém režimu přibližně 4,7 kilokalorií za hodinu na 1m² plochy těla a tuto spotřebovanou energii přenáší na teplo.

Ztráty tepla ovlivňuje převážně tělesná teplota člověka, teplota vnějšího okolního vzduchu a rychlost vzduchu proudícího v okolí. K tomu lze připočítat také faktory, jako jsou vzdálenosti mezi jednotlivými vlákny izolační vrstvy (výplně výrobku), jejich vlastnostmi a samotnou tloušťkou výplně. Je výrazně ovlivněna také aktivitou, kterou člověk při jejím používání vyvíjí. Proto je, pro docílení optimálního tepelného komfortu, důležité, aby jakýkoliv výplňkový materiál, který má sloužit jako tepelná izolace, vyrovnával současně rychlost produkce tepla v lidském těle, teplotu okolního prostředí a přitom dosahoval správných a požadovaných tepelně izolačních vlastností. Docíleno by mělo být také co nejmenších úniků vzduchu, neboť především množství zachyceného vzduchu ovlivňuje tepelné vlastnosti výplně.

Bez rozdílu, jestli se jedná o spacák, bundu nebo přikrývku pro zimní období, vždy je pro zákazníka jedním z nejdůležitějších požadavků hřejivost. Výrobek by měl poskytovat dostatečné tepelné vlastnosti v podmínkách pro něj určených. Hlavní funkce výplňkového materiálu je tedy funkce tepelně izolační. Při svém výběru kladou zákazníci na vybraný typ výrobku stále větší nároky. Z toho důvodu se snaží výrobci využívat nových typů výplní, případně se vlastnostem těch nejlepších alespoň přibližovat, přičemž konečná cena výrobku bude výrazně nižší. Vedle hřejivosti kladou zákazníci vysoké nároky také na lehkost, plnost, bakteriostatické účinky a vhodnost použití pro alergiky. Výrobky by měly být co nejlehčí a co nejvíce hřejivé.

Jako výplňkové materiály lze použít široké spektrum materiálů. Nicméně nejčastěji používanými materiály pro výplně obecně jsou dva základní typy a to vlákna ze skupiny syntetických a přírodní materiály.

Hlavním zástupcem syntetických materiálů však zůstávají vlákenná rouna převážně z polyesterových vláken, v případě termo-pojených roun pak také směsi polyesterových a bikomponentních vláken.

Popisem vzorků se zabývají následující kapitoly, technické parametry vzorků budou popsány v kapitole zabývající se měřením tepelných vlastností.

6.1 Výplně z přírodních materiálů

Z přírodních materiálů se pro výplně používá především peří a péřového prachu. Jedná se především o peří husí, kachní nebo vysoce ceněné peří kajčí. Dále je možné použít také ovčí vlny nebo srsti jiných živočichů.

Z výše uvedených přírodních výplní byla pro měření a zkoušky vybrána péřová výplň.

6.1.1 Peří

Kvalitní zpracované peří je v současné době považováno, díky své malé hmotnosti a vysoké tepelné izolaci, za stále nejdokonalejší izolační materiál. Peří má také vysokou stálost objemu a odolnost vůči tlaku bez poškození a vysokou životnost. Tyto vlastnosti získává peří díky své struktuře, která se skládá z drobných oddělených peříček, které uvnitř své struktury zadržují velké množství vzduchu. Vzduch zadržovaný mezi strukturami a v okolí má minimální možnost pohybu a zajišťuje tak snížení tepelných ztrát prouděním.

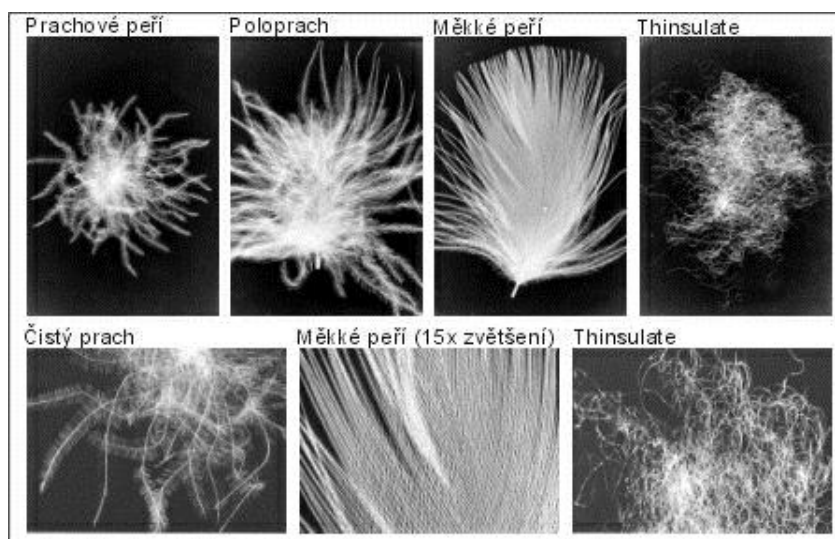
Jednotlivé filamenty peří mohou být velmi tenké a v porovnání s lidským vlasem desetkrát jemnější. Jedna částice prachového peří váží přibližně 1 – 4 mg, což představuje asi 250 000 – 1 000 000 těchto částic na 1 kilogram peří [20].

Kvalita použitého peří závisí na prostředí, odkud peří pochází. Výjimečné vlastnosti má peří z ptáků, kteří byli chováni pouze pro tento účel. Velmi kvalitní peří je získáváno dráním bílých husí, které je nutné ještě dále zpracovat, aby bylo použitelné pro výplně. Toto zpracování probíhá v několika desítkách operací, během kterých se peří třídí, pere, sterilizuje, atd. Zpracováním peří se zabývají specializovaní výrobci, kteří vlastní zařízení určené výhradně pro zpracování peří, a kteří dohlíží na kvalitu zpracování a výsledné efekty. Surové peří získávají od specializovaných chovatelů především ze zahraničí, ale částečně také z České republiky. Za nejkvalitnější a současně také nejdražší se považuje peří kajčí, které je sbíráno ručně z hnízd ptáků před snůškou vajec.

Výplň z peří nebo péřového prachu má vynikající životnost. Rozdíly v životnosti jsou však patrné mezi jednotlivými druhy peří, zatímco husí má životnost přibližně 15 let, u kachního je to pouze 5 let. Předpokladem dosažení udávané životnosti je správná údržba a skladování. Jedním z požadavků péřových výplní je také schopnost pohlcovat vlhkost - hygroskopičnost. Peří touto vlastností disponuje, může pojmout 4 až 5% vody, aniž by omak vyvolával pocit vlhkosti, přičemž se zvýšená vlhkost u péřových výrobků během dne samovolně opět navrací do normálního stavu. Zvýšená vlhkost však snižuje míru tepelných vlastností.

Pro hodnocení plnicí schopnosti se používá jednotka plnicí schopnosti cuin (cubic inch), která vyjadřuje, kolik krychlových palců zaujme jedna unce peří při 70 °F a při 65 % vlhkosti, případně po přepočtu do soustavy jednotek SI kde kubický palec je cca 16,387 cm³ a unce 28,35 gramů. Používání jednotek cuin je celosvětové. Kvalitní péřové výplně dosahují hodnoty od 600 cuin, kvalitnější náplně mají 650, 700, 725 a vysoce kvalitní až 800 cuin.

Jako vzorek pro měření byla použita péřová výplň ve složení 85% kachního peří a 15% kachního prachového peří. Tento druh výplně odpovídá levnějším typům péřových výplní, v současné době méně používaným, nicméně na trhu se stále objevuje a pohybuje se v rozmezí srovnatelné cenové hladiny jako dále zkoušené výplně syntetické. Srovnání jemnosti jemných pírek a péřového prachu se syntetickým vláknem Thinsulate® je patrné z obrázku 12 (*Obrázek 12 Peří a péřový prach v porovnání se syntetickým vláknem*).



Obrázek 12 Peří a péřový prach v porovnání se syntetickým vláknem¹²

6.2 Výplně ze syntetických materiálů

Syntetická vlákna představují důležitou skupinu textilních vláken. Při jejich výrobě lze měnit jejich složení, geometrické vlastnosti i strukturu. Vyrábí se tavným

¹² Zdroj obrázku: www.kod.tul.cz [online], 2009, [cit. 3. 12. 2013]. Klasifikace oděvních materiálů, dostupné z [www: http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska2_2013.pdf](http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska2_2013.pdf)

zvlákňováním z nízkomolekulárních struktur. Syntetická vlákna vynikají svými nízkými nároky na údržbu, jsou odolná proti plísní a vhodná také do vlhkého prostředí.

Největší podíl v zastoupení v této skupině vláken mají vlákna polyesterová. První zmínky o přírodním polyesteru pochází z roku 1830, první syntetický polyester se používal v 1. světové válce jako impregnační materiál. Vláknem ze syntetického polyesteru bylo vynalezeno v Anglii v roce 1941 a od roku 1947 se vyrábí průmyslově [22].

Pro výrobu výplňkových materiálů ze syntetických vláken se používají především polyesterová, polyamidová, polypropylenová vlákna nebo jejich směsi ve formě mykané stříže, vlákenného a termo-pojeného rouna. Vyznačují se vysokou objemností, lehkostí a měkkostí. Výhodou je také jejich malá plošná hmotnost, která se pohybuje v rozmezí 50 – 500g/m². Standardní délka vláken pro výrobu vlákenného rouna se pohybuje v rozmezí 32 – 64 mm, jemnost přibližně od 4,4 do 8 dtex, míra obloučkování je závislá od typu zpracování. Vysoce kvalitní vlákna mají míru zkadeření (obloučkování) okolo 9 – 12 obloučků na 1 anglický palec. Stejně tak, jako je tomu u zástupce přírodní výplně peří, je také u syntetických výplní mírou tepelné izolace množstvím vzduchu obsaženým ve struktuře vlákenného rouna. Čím jsou vlákna objemnější, tím více vzduchu zadržují a jsou tak více hřejivější. Vysoce zkadeřená vlákna umožňují v textiliích získat více uzavřených pórů naplněných vzduchem. Pro vlákenná rouna se používají vlákna jedno až šestikomorová. Čím více komor ve vláknech, tím jemnější vlákno a tím také vyšší množství vzduchu obsaženého ve struktuře vláken.

Výplně ze syntetických vláken vynikají také nízkou navlhavostí. Jsou méně navlhavá než výplně přírodní a jsou schopna díky svým vlastnostem vlhkost ze své struktury rychleji odvádět. Se zvyšující se vlhkostí přirozeně klesá tepelný odpor textilie, jelikož vlhkost výrazně zvyšuje tepelnou vodivost. Voda je velmi dobrým vodičem tepla, proto je důležité zajistit rychlý odvod vody ze struktury vláken ve výplni.

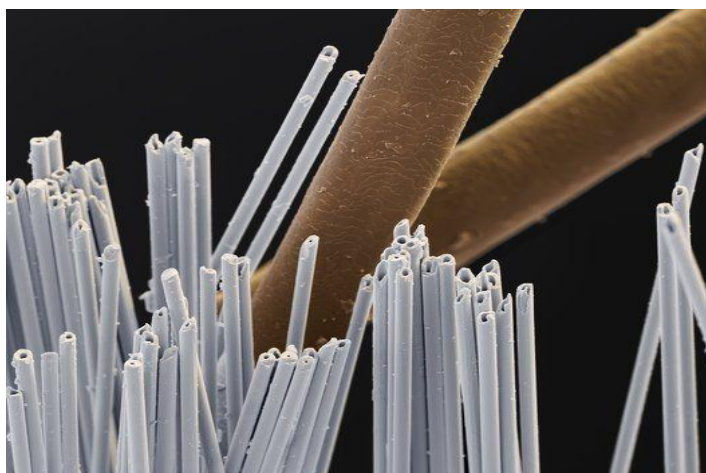
Jako zástupce syntetických vláken byly pro experimentální část vybrány mykané rouno z jednokomorových polyesterových vláken Dreamfil®, mykané rouno z polyesterových jednokomorových HCS vláken, termo-pojené rouno z polyesterových vláken Tercie a termo-pojené rouno ze směsi polyesterových a polypropylenových mikrovláken Thinsulate®.

Vzhledem k nutnosti respektovat obchodní tajemství výrobců syntetických vláken pro výplně jsou u popisu jednotlivých typů vláken uvedeny pouze základní technické údaje.

6.2.1 Polyesterová vlákna HCS

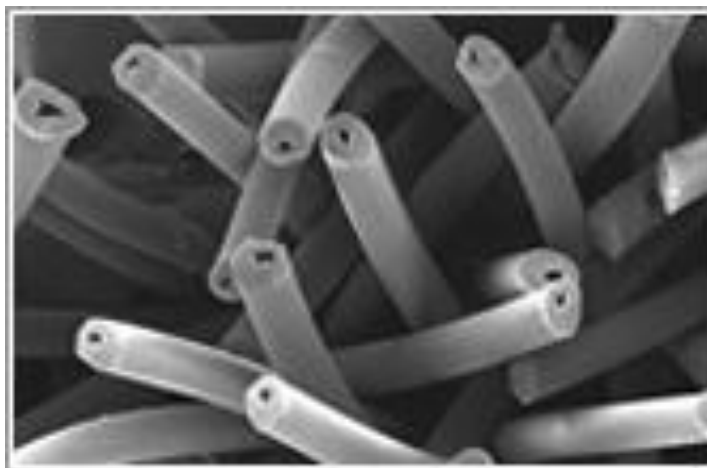
Pod označením zkratkou HCS se nachází dutá silikonizovaná konjugovaná vlákna (hollow conjugated siliconized). Jedná se o vlákna vyrobená z recyklovaných PET lahví nebo vlákna ze surového materiálu. Dle kvality použité výchozí suroviny jsou výsledná vlákna zabarvena do šeda, namodralá nebo čistě bílá. Pro výrobu přikrývek a polštářů, či výrobků, kde je preferována světlá povrchová tkanina je lépe použít vlákna co nejvíce se blíží bílé barvě. Pro dosažení kompaktnosti vláknenných roun z polyesterových dutých vláken se se dutá vlákna mísí s vlákny plnými, většinou v poměru 80% dutých vláken a 20% plných vláken, jako je znázorněno na obrázku 13 (*Obrázek 13 Směs polyesterových plných a dutých vláken*). Průřez dutých vláken je zobrazen na obrázku 14 (*Obrázek 14 Průřez dutými polyesterovými vlákny*).

Většina polyesterových vláken tohoto typu pochází od asijských producentů, kteří svou cenovou politikou vytlačují vysoce kvalitní vlákna od výrobců evropských.



Obrázek 13 Směs polyesterových plných a dutých vláken¹³

¹³ Zdroj obrázku: Antpetr.cz [online]2011, [cit. 14. 8. 2013], Polyesterová střížová vlákna, dostupné z [www: www.antpetr.cz](http://www.antpetr.cz)



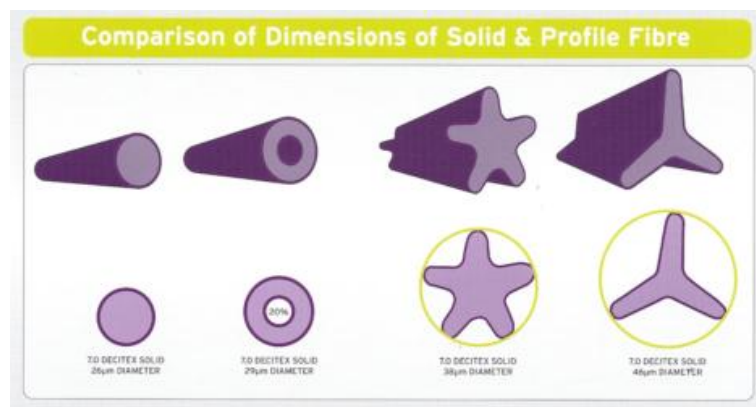
Obrázek 14 Průřez dutými polyesterovými vlákny¹⁴

6.2.2 Polyesterové vlákenné rouno Dreamfil®

Polyesterová vlákna Dreamfil® patří do skupiny tzv. smart fibers. Jedná se o polyesterová dutá vlákna, dvoj- nebo trojrozměrná, jejich přesný poměr je výrobním tajemstvím výrobce. Technická specifikace vláken Dreamfil® udává podíl dvoj- a trojrozměrných vláken, zvyšující výhřevnost hotového výplňkového materiálu až o 35% bez nutného navýšení hmotnosti. Tato vlastnost vláken tak zajišťuje v hotovém výrobku vyšší tepelně izolační vlastnosti.

Výrobce těchto vláken je významný producent polyesterových střížových vláken, irská společnost Wellman International, která vyrábí produkty pro textilní, nábytkářský a automobilový průmysl. Vyrábí produkty pro interiéry aut, výplně do čalouněného nábytku, polyesterové stříže pro výrobu mykaného rouna do výplní, geotextilie, technické tkaniny. Příklady profilů syntetických vláken vyráběných firmou Wellman International jsou zobrazeny na obrázku 15 (Obrázek 15 Profily syntetických vláken Wellman).

¹⁴ Zdroj obrázku: vlastní



Obrázek 15 Profily syntetických vláken Wellman¹⁵

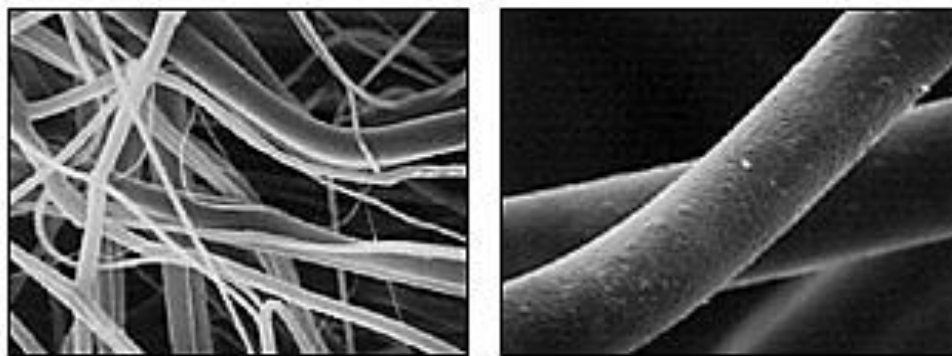
6.2.3 Termicky spojené rouno 3M™ Thinsulate®

3M™ Thinsulate® je speciální materiál používaný pro výplně patřící do skupiny syntetických vláken. Díky složení z mikrovláken a jemných vláken, ze směsi polyesteru a polypropylenu, je materiál Thinsulate® schopen v sobě zadržovat více molekul vzduchu než ostatní syntetické výplně složené pouze z jednoho druhu vláken. Tyto molekuly vzduchu jsou zadržovány v menším prostoru mezi vlákny, čímž je docíleno lepší tepelné izolace při nižší hmotnosti a tloušťce. Mikroskopické porovnání jemnosti standardních vláken a vláken Thinsulate® je zobrazeno na obrázku 16 (Obrázek 16 Porovnání vlákenné struktury materiálu Thinsulate® (vlevo) a dutých vláken o jemnosti 6den (vpravo)).

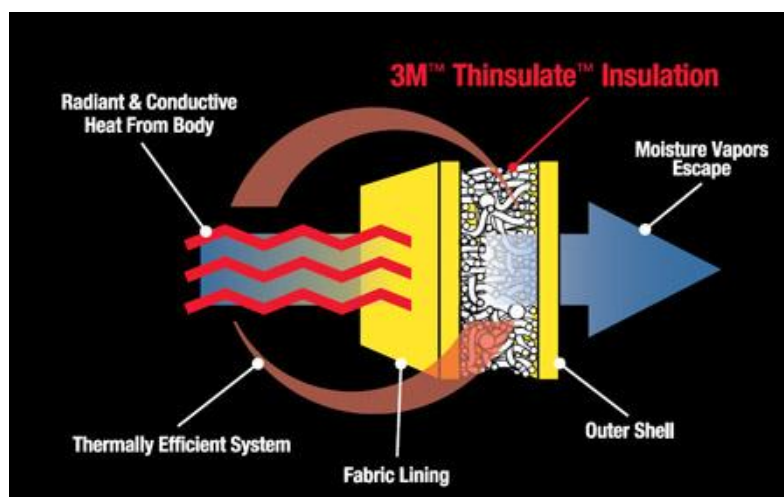
Mikrovlákná 3M™ Thinsulate® izolace jsou asi desetkrát menšího rozměru než vlákna většiny jiných syntetických izolací, což znamená, že jsou mnohem účinnější při zachycení vzduchu. To znamená, že do stejného prostoru je třeba více vláken, která mohou zpětně odrážet více sálavého tepla k tělu, jak je znázorněno na obrázku 17 (Obrázek 17 Znázornění funkčnosti Thinsulate®).

Syntetická vlákna polyesteru s jemností cca 6 den jsou mnohem silnější a nejsou zdaleka tak efektivní při zadržování vzduchu nebo zpětném odrazu tepla k tělu. Tato vlákna izolace Thinsulate® nejsou narušena ani opakovanými cykly praní a čištění a neovlivňují jejich vlastnosti.

¹⁵ Zdroj obrázku: vlastní



Obrázek 16 Porovnání vlákenné struktury materiálu Thinsulate® (vlevo)
a dutých vláken o jemnosti 6 den (vpravo)¹⁶



Obrázek 17 Znáznornění funkčnosti Thinsulate®¹⁷

Výplně z materiálu Thinsulate®, jsou využívány pro široké spektrum výrobků, jako jsou outdoorové oděvy, speciální oděvy, oděvní doplňky, lůžkoviny, spacáky, obuv, aj.

¹⁶ Zdroj obrázku: Surplusandadventure. com [online], 2013 [cit. 30. 11. 2013]. Product information – Thinsulate, dostupné z [www: http://www.surplusandadventure.com/shop/home/product-information/thinsulate.html](http://www.surplusandadventure.com/shop/home/product-information/thinsulate.html)

¹⁷ Zdroj obrázku: Solutions.3m.com [online], 2013 [cit. 12. 6. 2013]. What is 3M™ Thinsulate™ Insulation?, dostupné z [www: http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Thinsulate_Insulation/Homepage/AboutUs/WhatIsThinsulate](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Thinsulate_Insulation/Homepage/AboutUs/WhatIsThinsulate)

6.2.4 Termicky pojené rouno Tercie

Výplňkový materiál Tercie je termicky pojené rouno z polyesterových vláken vyráběné termickým teplovzdušným pojením vlákenné směsi v termické komoře. Obsahuje poměr jednokomorových dutých a plných polyesterových vláken. Rouno se vyrábí mechanicky suchou cestou. Jeho vlákna jsou orientována v horizontálním i vertikálním směru.

Výrobce vyrábí několik typů termicky pojených roun Tercie, které se od sebe liší gramáží na m² a tloušťkou. Výrobce u tohoto typu výplňového materiálu uvádí schopnost zotavení po zatížení přibližně 75%. Složení vláken je u těchto typů stejné. Typy termicky pojených roun Tercie jsou znázorněny na obrázku 18 (*Obrázek 18 Termicky pojená rouna Tercie*).



Obrázek 18 Termicky pojená rouna Tercie¹⁸

¹⁸ Zdroj obrázku: Fibertex.com [online], 2013 [cit. 21. 8. 2013] Termicky pojené netkané textilie, dostupné z [www: http://www.fibertex.com/cs-CZ/Produkty/Nabytek/Produkty/Pages/TermickePojeni.aspx](http://www.fibertex.com/cs-CZ/Produkty/Nabytek/Produkty/Pages/TermickePojeni.aspx)

PRAKTICKÁ ČÁST

7 MĚŘENÍ TEPELNÝCH VLASTNOSTÍ

Pro zkoušky byly použity vzorky ze skupiny přírodních výplní a vzorky zastupující výplně syntetické, uvedené v předchozí kapitole. Jako povrchový materiál kapsy vzorku byl pro všechny vzorky použit podšívkový materiál ze 100% polyesteru o gramáži 57 g/m². Vzorky použité pro zkoušky byly následujících parametrů:

VZOREK 1 - Peří

Složení	85% kachní peří 15% kachní prachové peří
Plnivost	550 cuin
Hmotnost výplně vzorku	20g
Rozměr vzorku	305 x 305 mm
Tloušťka vzorku	20 mm

VZOREK 2 - Dreamfil®

Složení	100% polyester
Jemnost vláken	6,7 dtex
Délka vláken	64 mm
CPI	9 / inch
Profil vlákna	kruhový
Povrchová úprava vláken	silikonizovaná soft hand
Hmotnost výplně vzorku	20g
Rozměr vzorku	305 x 305 mm
Tloušťka vzorku	27 mm

VZOREK 3 - Thinsulate®

Složení	95% polyesterová vlákna 5% polypropylenová vlákna
Jemnost vláken	cca 15µm
Délka vláken	64 – 80 mm
Profil vlákna	kruhový
Technologie zpracování	termopojení
Hmotnost výplně vzorku	20g

Rozměr vzorku	305 x 305 mm
Tloušťka vzorku	26 mm

VZOREK 4 - HCS

Složení	100% polyester
Jemnost vláken	7,8 dtex
Délka vláken	64 mm
CPI	8 / inch
Profil vlákna	kruhový
Povrchová úprava vláken	silikonizovaná konjugované
Hmotnost výplně vzorku	20g
Rozměr vzorku	305 x 305 mm
Tloušťka vzorku	27 mm

VZOREK 5 - Tercie

Složení	100% polyester
Jemnost vláken	7,8 – 9 dtex
Délka vláken	cca 51 – 70 mm
Profil vlákna	kruhový
Technologie zpracování	termopojení
Hmotnost výplně vzorku	20g
Rozměr vzorku	305 x 305 mm
Tloušťka vzorku	22 mm

Pro měření a následné porovnání výsledků tepelných vlastností vybraných výše uvedených materiálů byly využity přístroje, které jsou k dispozici na Katedře oděvnictví TUL v Liberci.

Jako zástupce pro měření statickou metodou byl využit Thermal Conductivity Analyzer, Model C-Therm Tci. Pro měření metodou dynamickou byl využit přístroj FOX304 instrument. Porovnání tepelných vlastností se týkalo všech zástupců, jak z výplně přírodní (peří), tak z výplní syntetických (Drearnfil®, HCS, Thinsulate®, Tercie).

Pro samotné měření byly, od každého typu materiálu, k dispozici vzorky rozměru 305 x 305 mm. Všechny testované vzorky měly shodnou gramáž výplně 20g. Vzorky pro měření byly klimatizovány po dobu 24 hodin při teplotě okolního prostředí 21°C a vlhkosti vzduchu 64%.

Účelem měření bylo získání výsledků tepelně izolačních vlastností vybraných výplní, které by se nejvíce blížily nejlépe vyhodnocenému vzorku. Dále porovnání výsledků měření statického a měření dynamického a porovnání tepelně izolačních vlastností vzorků výplně při vlivu stlačení (měřeno na C-Therm Tci) a při volném měření bez stlačení (měřeno na FOX304 instrument).

7.1 Měření na přístroji C-Therm Tci

Měření tepelných vlastností statickou metodou bylo prováděno na přístroji Thermal Conductivity Analyzer – C-Therm Tci, který je zobrazen na obrázku 19 (Obrázek 19 Model přístroje C-Therm Tci). Jak je uvedeno v detailním popisu přístroje v kapitolách výše, přístroj C-Therm Tci měří tepelnou vodivost λ a efusivitu e . Dle zadaných kritérií lze spočítat měrnou tepelnou vodivost α a měrnou tepelnou kapacitu c_p .

Bylo měřeno celkem pět typů výplňových materiálů za působení tří hmotností zatížení (závaží o hmotnosti 50g, 250g a 500g). Od každého vzorku a zatížení bylo provedeno celkem 10 měření.



Obrázek 19 Model přístroje C-Therm Tci¹⁹

Před samotným započítím měření je nutné zkontrolovat správnou kalibraci přístroje, případně vybrat správnou kalibrační metodu odpovídající testovanému materiálu. Po přípravě klimatizovaných vzorků pro měření se vzorek umístí na senzor a

¹⁹ Zdroj obrázku: Ctherm.com [online], 2013 [cit. 29. 9. 2013]. Thermal Conductivity Analyzer Tci, dostupné z [www: http://www.ctherm.com/products/tci_thermal_conductivity/?referrer=AZONANO](http://www.ctherm.com/products/tci_thermal_conductivity/?referrer=AZONANO)

na nástrojové liště softwarového programu se spustí nový test. Vybere se zkušební metoda, která popisuje parametry testu, typ měření, úroveň, časové natavení a počet měření. Po výběru zkušební metody a skupiny materiálu se spustí test. V průběhu testu zobrazuje výsledky tabulka. V průběhu testu je možné test přerušit nebo zastavit v případě zabarvení některé z buněk, která značí neplatné měření. Velmi důležité je zajištění nepohyblivosti vzorku v průběhu testu a jeho dobrý kontakt se senzorem. Vzorky je možné testovat se zatížením nebo bez zatížení.

7.1.1 Výsledky naměřených hodnot – C-Therm TCi

Výsledky jednotlivých měření vzorků při různém zatížení a jejich průměrné hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách 3 – 18 (*Tabulka 3 Výsledky měření VZOREK 1 – bez zatížení, zatížení 50g; Tabulka 4 Výsledky měření VZOREK 1 – Peří - zatížení 250g, zatížení 500g; Tabulka. 5 Výsledky měření VZOREK 2 - Dreamfil® - bez zatížení, zatížení 50g; Tabulka 6 Výsledky měření VZOREK 2 - Dreamfil® - zatížení 250g, zatížení 500g; Tabulka 7 Výsledky měření VZOREK 3 - Thinsulate® - bez zatížení, zatížení 50g; Tabulka 8 Výsledky měření VZOREK 3 - Thinsulate® - zatížení 250g, zatížení 500g; Tabulka 9 Výsledky měření VZOREK 4 – HCS – bez zatížení, zatížení 50g; Tabulka 10 Výsledky měření VZOREK 4 – HCS – zatížení 250g, zatížení 500g; Tabulka 11 Výsledky měření VZOREK 5 – Tercie – bez zatížení, zatížení 50g; Tabulka 12 Výsledky měření VZOREK 5 – Tercie – zatížení 250g, zatížení 500g*). Vzhledem k velkému počtu měřených dat, bylo u jednotlivých vzorků vyselektováno deset průměrných hodnot vždy pro efusivitu e [$Ws^{1/2}/m^2K$] a tepelnou vodivost k [W/mK] bez zatížení vzorku a pro jednotlivé míry zatížení.

Tabulka 3 Výsledky měření VZOREK 1 – Peří - bez zatížení, zatížení 50g

VZOREK 1 - PEŘÍ				
	bez zatížení		zatížení 50g	
#	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)
1	107,8153202	0,054829045	109,8151202	0,056829138
2	106,2431753	0,052380745	108,4218153	0,056390808
3	110,5055925	0,052886836	113,5055925	0,057990789
4	109,2956201	0,054785016	112,8609730	0,057787815
5	111,0963868	0,054593029	118,5909659	0,059593029
6	111,2022477	0,053805816	118,2085243	0,059472473
7	107,9500840	0,053915093	113,1979450	0,057893915
8	107,3894166	0,053977002	113,6268639	0,058028977
9	108,0440010	0,052115526	114,8002120	0,058398516
10	111,6422775	0,052115197	114,6498412	0,058351152
Ø	109,1184122	0,053540331	113,7677853	0,058073661

Tabulka 4 Výsledky měření VZOREK 1 – Peří - zatížení 250g, zatížení 500g

VZOREK 1 - PEŘÍ				
	zatížení 250g		zatížení 500g	
#	Effusivity (Ws ^{1/2} /m ² K)	k (W/mK)	Effusivity (Ws ^{1/2} /m ² K)	k (W/mK)
1	126,5907392	0,062117070	135,1050992	0,064808270
2	127,3856769	0,062368123	134,9168582	0,064748717
3	129,0803644	0,062903473	143,6339343	0,067509020
4	129,0292009	0,062887307	145,5160151	0,068105674
5	130,0887488	0,063222113	137,2505959	0,065487196
6	129,6303175	0,063077244	138,1358167	0,065767409
7	133,7397477	0,064376379	143,4071552	0,067437143
8	134,6719352	0,064671237	144,3045335	0,067721584
9	140,5760536	0,066540135	146,0481331	0,068274409
10	140,7167492	0,066584700	146,2060484	0,068324488
Ø	132,1509533	0,063874778	141,4524190	0,066818391

Tabulka 5 Výsledky měření VZOREK 2 - Dreamfil® - bez zatížení, zatížení 50g

VZOREK 2 - Dreamfil®				
	bez zatížení		zatížení 50g	
#	Effusivity (Ws ^{1/2} /m ² K)	k (W/mK)	Effusivity (Ws ^{1/2} /m ² K)	k (W/mK)
1	100,1485584	0,050518908	104,1632505	0,055051891
2	101,7652193	0,052573446	101,7248067	0,054285783
3	100,0356801	0,053592347	100,8103757	0,053998592
4	101,2280429	0,053030162	104,9622788	0,055303016
5	102,5748027	0,051039160	105,6230575	0,055510724
6	102,3828440	0,051122943	102,5923828	0,054558311
7	101,6662202	0,053603165	101,9834367	0,054367020
8	101,7666243	0,052711048	103,7839977	0,054932711
9	103,1781842	0,051124441	105,1757382	0,055370111
10	100,4638986	0,052433844	104,8764639	0,055276043
Ø	101,5210075	0,052174946	103,5695788	0,05486542

Tabulka 6 Výsledky měření VZOREK 2 - Dreamfil® - zatížení 250g, zatížení 500g

VZOREK 2 - Dreamfil®				
	zatížení 250g		zatížení 500g	
#	Effusivity (Ws ^{1/2} /m ² K)	k (W/mK)	Effusivity (Ws ^{1/2} /m ² K)	k (W/mK)
1	114,2840499	0,058235942	130,9246849	0,063486315
2	114,5907663	0,058332545	132,0629491	0,063846145
3	116,3434072	0,058884678	124,5460756	0,061471535
4	118,5684541	0,059585933	126,3889007	0,062053334
5	116,6976076	0,058996286	127,4514803	0,062388906
6	117,1508393	0,059139112	127,1482806	0,062293145
7	122,0499011	0,060683837	129,0070105	0,062880296
8	120,6357487	0,060237772	128,1844827	0,062620440
9	119,6344362	0,059922012	128,3793091	0,062681986
10	118,8441893	0,059672858	128,4983618	0,062719597
Ø	117,8799400	0,059369097	128,2591535	0,062644170

Tabulka 7 Výsledky měření VZOREK 3 - Thinsulate® - bez zatížení, zatížení 50g

VZOREK 3 - Thinsulate®				
	bez zatížení		zatížení 50g	
#	Effusivity (Ws ^{1/2} /m ² K)	k (W/mK)	Effusivity (Ws ^{1/2} /m ² K)	k (W/mK)
1	111,2585927	0,057525220	115,2581086	0,058542753
2	104,7416134	0,054923973	108,7446616	0,056492363
3	104,2215086	0,054595874	106,8122151	0,055884596
4	105,5624916	0,052657579	107,5853662	0,056127727
5	105,3791049	0,052995772	104,9513379	0,055299577
6	103,9330773	0,054979558	103,9330773	0,054979558
7	106,1468111	0,056304308	108,1468113	0,056304308
8	106,5353810	0,056110420	107,5303345	0,056110420
9	104,3274458	0,052095659	106,3271264	0,055732072
10	104,8518099	0,052559688	105,7145852	0,055539497
Ø	105,6957836	0,054474805	107,5003624	0,056101287

Tabulka 8 Výsledky měření VZOREK 3 - Thinsulate® - zatížení 250g, zatížení 500g

VZOREK 3 - Thinsulate®				
	zatížení 250g		zatížení 500g	
#	Effusivity (Ws ^{1/2} /m²K)	k (W/mK)	Effusivity (Ws ^{1/2} /m²K)	k (W/mK)
1	119,8275866	0,059982916	131,7417830	0,063744608
2	122,9709207	0,060974426	133,3519447	0,064253731
3	126,7704939	0,062173835	134,3435925	0,064567373
4	126,1512848	0,061978303	133,3648671	0,064257818
5	119,6510431	0,059927248	132,8794312	0,064104307
6	120,5818808	0,060220783	133,1710519	0,064196525
7	122,4016050	0,060794795	136,1333782	0,065133622
8	125,1114038	0,061649990	134,2957771	0,064552248
9	124,1498821	0,061346483	130,6090397	0,063386548
10	123,4234321	0,061117218	130,9902209	0,063507030
Ø	123,1039533	0,061016600	133,0881086	0,064170381

Tabulka 9 Výsledky měření VZOREK 4 – HCS – bez zatížení, zatížení 50g

VZOREK 4 - HCS				
	bez zatížení		zatížení 50g	
#	Effusivity (Ws ^{1/2} /m²K)	k (W/mK)	Effusivity (Ws ^{1/2} /m²K)	k (W/mK)
1	100,1220325	0,052588458	103,4122030	0,054815885
2	100,3118341	0,052843479	103,3118341	0,054784348
3	99,12207908	0,051681948	101,1227183	0,054096682
4	99,21556482	0,051181331	100,2155648	0,053811813
5	101,3284588	0,052175484	101,3736285	0,054175484
6	101,0044451	0,052194372	101,4403445	0,054196438
7	102,1140874	0,053742363	103,1798141	0,054742867
8	99,31362106	0,053846553	103,3166036	0,054785847
9	99,35323858	0,050246742	101,3537698	0,054169247
10	100,1244258	0,050306336	100,9124153	0,054030637
Ø	100,2009787	0,052080707	101,9638896	0,054360925

Tabulka 10 Výsledky měření VZOREK 4 – HCS – zatížení 250g, zatížení 500g

VZOREK 4 - HCS				
zatížení 250g			zatížení 500g	
#	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)
1	113,7579236	0,058070249	123,8497043	0,061251744
2	114,1105433	0,058181297	123,9813855	0,061293303
3	112,5085400	0,057676855	122,1781570	0,060724299
4	111,0939564	0,057231573	123,4224106	0,061116896
5	111,3230834	0,057303688	124,0092849	0,061302108
6	113,0858093	0,057858607	125,1750505	0,061670083
7	110,7434979	0,057121277	124,1580107	0,061349048
8	111,3711017	0,057318802	123,6165868	0,061178174
9	112,8781173	0,057793213	123,2957310	0,061076920
10	111,8658316	0,057474527	123,4082965	0,061112442
Ø	112,2738405	0,057603009	123,7094618	0,061207502

Tabulka 11 Výsledky měření VZOREK 5 – Tercie – bez zatížení, zatížení 50g

VZOREK 5 - TERCIE				
	bez zatížení		zatížení 50g	
#	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)
1	102,1021334	0,052613476	103,1902134	0,054746135
2	102,1076375	0,052350075	104,1710764	0,055054350
3	103,1264632	0,053549329	105,1274565	0,055354935
4	103,0192922	0,053254992	106,0741929	0,055652550
5	104,2893188	0,054633820	104,2897139	0,055091634
6	105,5008796	0,054924946	105,5700880	0,055494072
7	101,7454800	0,051551639	104,7495548	0,055236155
8	101,5740201	0,051583237	105,9574020	0,055615832
9	103,0521586	0,053476710	103,0544422	0,054703477
10	101,7079383	0,051396853	100,7078587	0,053966399
Ø	102,8225322	0,052933508	104,2891999	0,055091554

Tabulka 12 Výsledky měření VZOREK 5 – Tercie – zatížení 250g, zatížení 500g

VZOREK 5 - TERCIE				
	zatížení 250g		zatížení 500g	
#	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)
1	108,7860613	0,056505386	122,9989002	0,060983255
2	108,4137974	0,056388286	122,8081388	0,060923063
3	114,3489494	0,058256382	119,1966596	0,059783982
4	112,6701212	0,057727726	118,3095188	0,059504308
5	111,6095331	0,057393850	120,0793618	0,060062309
6	111,8935128	0,057483240	118,7813131	0,059653036
7	114,9660976	0,058450768	122,2193089	0,060737282
8	115,7046492	0,058683426	121,6121802	0,060545752
9	111,5325546	0,057369620	116,6945181	0,058995313
10	114,4684336	0,058294015	114,8807318	0,058423878
Ø	112,439371	0,057655270	119,7580631	0,059961218

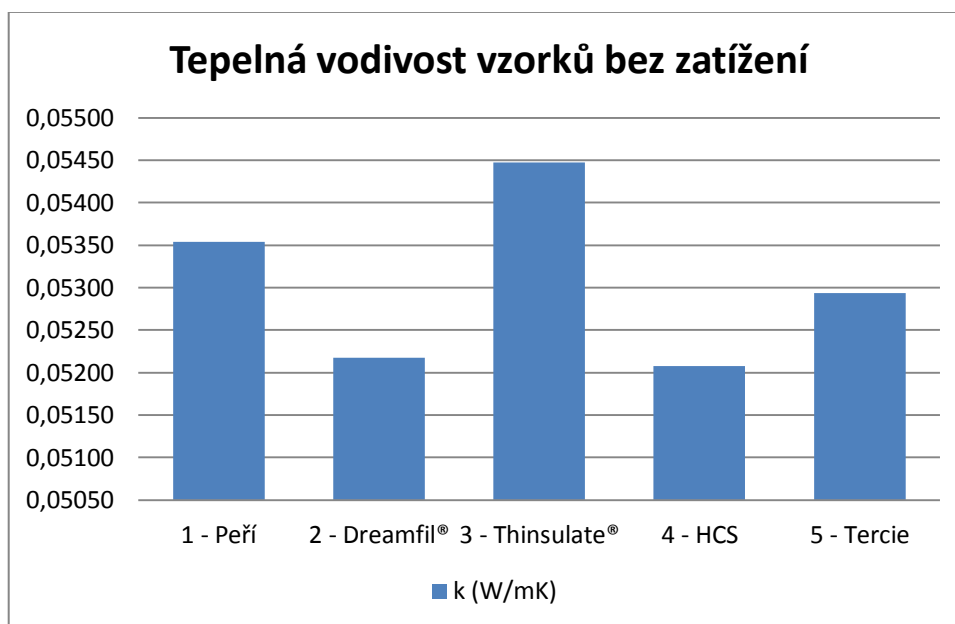
Dosazením výsledných průměrných hodnot efusivity e [$Ws^{1/2}/m^2K$] a výsledných průměrných hodnot tepelné vodivosti k [W/m.K], bez zatížení a při uvedených mírách zatížení a jejich následným porovnáním, jsou patrné rozdíly mezi jednotlivými typy výplňových materiálů. Tyto hodnoty pro jednotlivé materiály jsou znázorněny v tabulkách 13 – 16 (*Tabulka 13 Průměrné výsledné hodnoty vzorků bez zatížení; Tabulka 14 Průměrné výsledné hodnoty vzorků při zatížení 50g; Tabulka 15 Průměrné výsledné hodnoty vzorků při zatížení 250g; Tabulka 16 Průměrné výsledné hodnoty vzorků při zatížení 500g*). Grafické znázornění pak představují obrázky 20 – 24 (*Obrázek 20 Grafické znázornění hodnot tepelné vodivosti vzorků – bez zatížení; Obrázek 21 Grafické znázornění hodnot tepelné vodivosti vzorků – při zatížení 50g; Obrázek 22 Grafické znázornění hodnot tepelné vodivosti vzorků – při zatížení 250g; Obrázek 23 Grafické znázornění hodnot tepelné vodivosti vzorků – při zatížení 500g; Obrázek 24 Grafické znázornění hodnot tepelného odporu bez zatížení a v závislosti na zatížení 50g*).

Dalším z hodnocených parametrů je tepelný odpor. Tato hodnota byla vypočtena podílem tloušťky vzorku a naměřené hodnoty tepelné vodivosti. Porovnání výsledné hodnoty tepelné vodivosti k [W/m.K] a tepelného odporu R [$m^2.K/W$], v závislosti na zatížení, bylo provedeno u všech vzorků pro hodnoty vzorků bez zatížení a hodnoty se zatížením 50g. Porovnáním výsledných hodnot tepelného odporu a tepelné vodivosti již při minimálním zatížení 50g je patrná změna hodnoty tepelného odporu.

Hodnoty tepelného odporu R [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$] vzorků bez zatížení vycházející z hodnot měření na přístroji C-Therm Tci budou hodnoceny také v závislosti na hodnoty tepelného odporu R [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$] vyplývajícího z výpočtů výsledných hodnot měření na přístroji FOX304 instrument.

Tabulka 13 Průměrné výsledné hodnoty vzorků bez zatížení

Bez zatížení			
Vzorek č.	Effusivity ($\text{Ws}^{1/2}/\text{m}^2\text{K}$)	k (W/mK)	R ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
1 - Peří	109,11841	0,05354	0,37355
2 - Dreamfil®	101,52101	0,05217	0,51749
3 - Thinsulate®	105,69578	0,05447	0,47728
4 - HCS	100,20098	0,05208	0,51843
5 - Tercie	102,82253	0,05293	0,41562

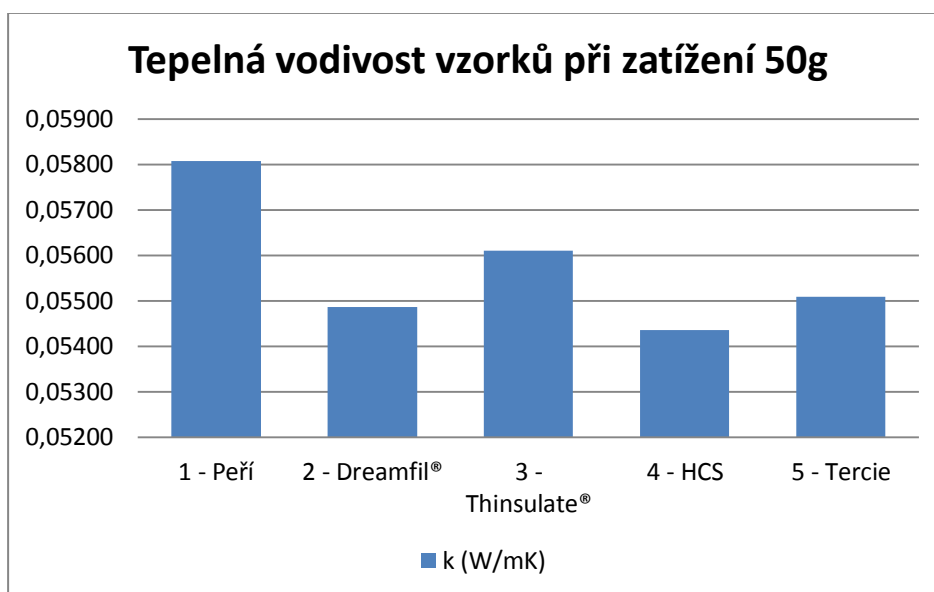


Obrázek 20 Grafické znázornění hodnot tepelné vodivosti vzorků – bez zatížení²⁰

²⁰ Zdroj obrázku: vlastní

Tabulka 14 Průměrné výsledné hodnoty vzorků při zatížení 50g

Zatížení vzorků 50g			
Vzorek	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)	R ($m^2.K/W$)
1 - Peří	113,76779	0,05807	0,22833
2 - Dreamfil®	103,56958	0,05487	0,37474
3 - Thinsulate®	107,50036	0,05610	0,29803
4 - HCS	101,96389	0,05436	0,44554
5 - Tercie	104,28920	0,05509	0,29460

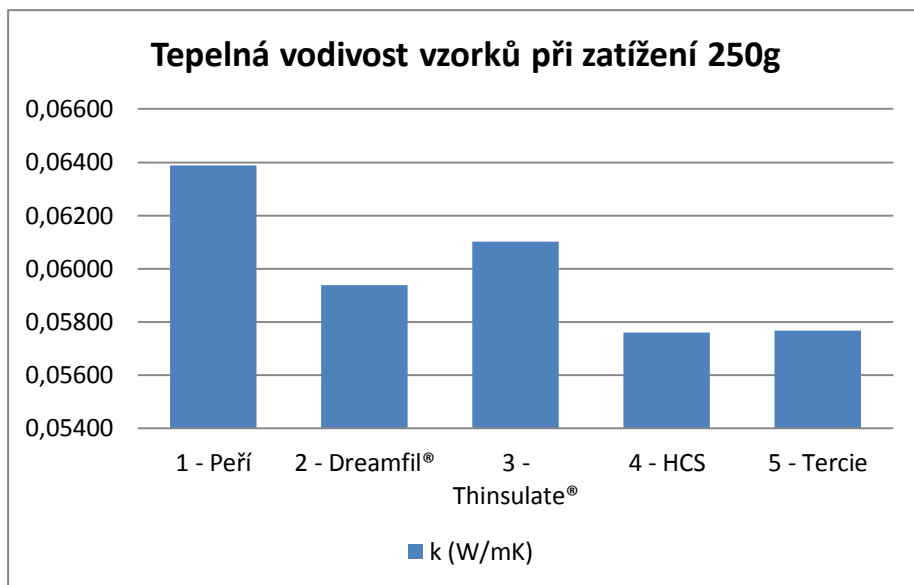


Obrázek 21 Grafické znázornění hodnot tepelné vodivosti vzorků – při zatížení 50g²¹

Tabulka 15 Průměrné výsledné hodnoty vzorků při zatížení 250g

Zatížení vzorků 250g		
Vzorek	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)
1 - Peří	132,15095	0,06387
2 - Dreamfil®	117,87994	0,05937
3 - Thinsulate®	123,10395	0,06102
4 - HCS	112,27384	0,05760
5 - Tercie	112,43937	0,05766

²¹ Zdroj obrázku: vlastní

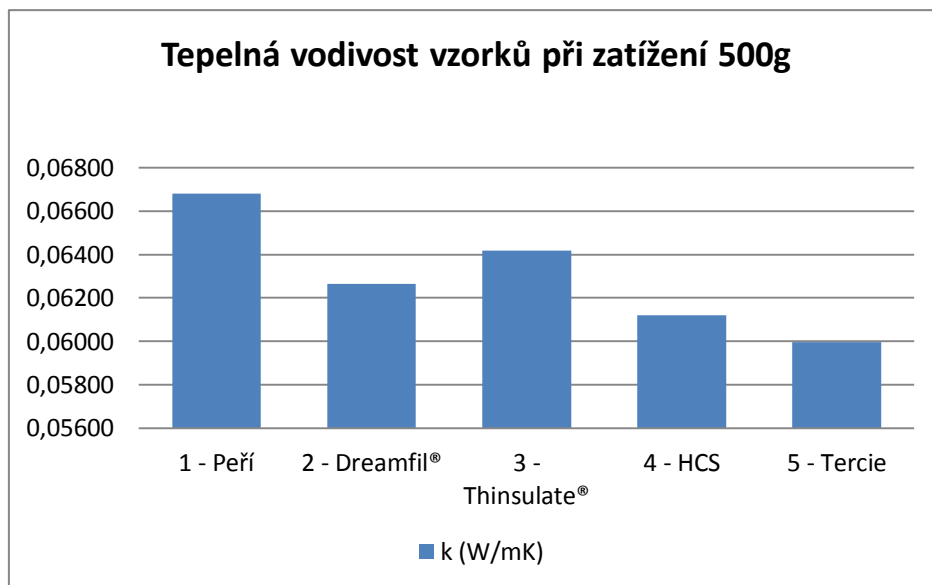


Obrázek 22 Grafické znázornění hodnot tepelné vodivosti vzorků – při zatížení 250g²²

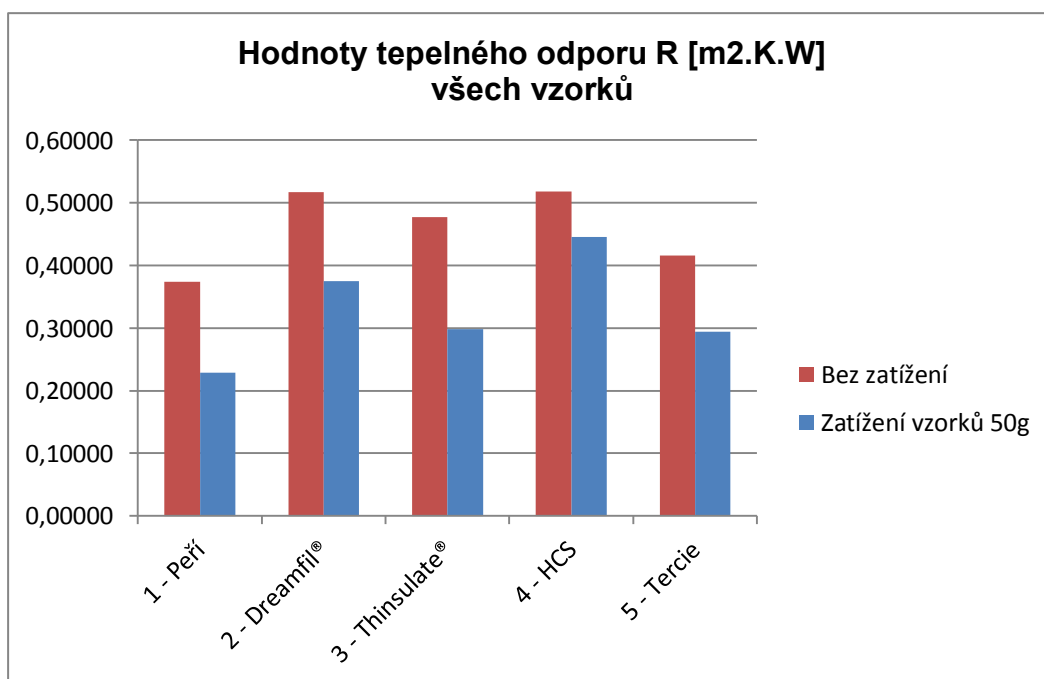
Tabulka 16 Průměrné výsledné hodnoty vzorků při zatížení 500g

Zatížení vzorků 500g		
Vzorek	Effusivity (Ws ^{1/2} /m ² K)	k (W/mK)
1 - Peří	141,45242	0,06682
2 - Dreamfil®	128,25915	0,06264
3 - Thinsulate®	133,08811	0,06417
4 - HCS	123,70946	0,06121
5 - Tercie	119,75806	0,05996

²² Zdroj obrázku: vlastní



Obrázek 23 Grafické znázornění hodnot tepelné vodivosti vzorků – při zatížení 500g²³



Obrázek 24 Grafické znázornění hodnot tepelného odporu bez zatížení a v závislosti na zatížení 50g²⁴

²³ Zdroj obrázku: vlastní

²⁴ zdroj obrázku: vlastní

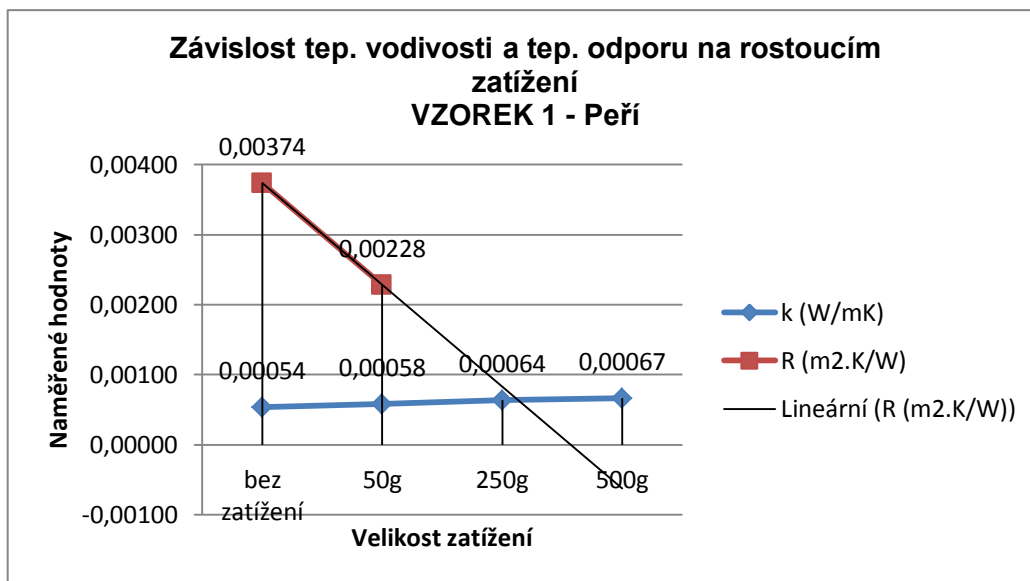
Závislost hodnot tepelné vodivosti k a tepelného odporu R na zvyšujícím se zatížení, pro jednotlivé typy vzorků, je uvedena v tabulkách 17 - 21 (*Tabulka 17 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 1 – Peří; Tabulka 18 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 2 - Dreamfil®; Tabulka 19 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 3 - Thinsulate®; Tabulka 20 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 4 – HCS; Tabulka 21 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 5 – Tercie*).

Hodnoty tepelného odporu pro jednotlivé vzorky jsou uvedeny bez zatížení a se zatížením 50g. Jak bylo uvedeno výše, již porovnáním hodnoty bez zatížení a hodnoty s minimálním zatížením 50g, je patrný vývoj hodnot při zvyšujícím se zatížení jednotlivého vzorku. Předpoklad vývoje hodnoty tepelného odporu při zvyšujícím se zatížení zobrazuje lineární spojnice trendu vývoje pro následující dvě hodnoty.

Hodnoty ve výše uvedených tabulkách a předpoklad vývoje je graficky znázorněn na obrázcích 25 - 29 (*Obrázek 25 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení - VZOREK 1 – Peří; Obrázek 26 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení - VZOREK 2 - Dreamfil®; Obrázek 27 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení - VZOREK 3 - Thinsulate®; Obrázek 28 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení - VZOREK 4 – HCS; Obrázek 29 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení - VZOREK 5 – Tercie*).

Tabulka 17 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 1 - Peří

VZOREK 1 - Peří			
Zatížení vzorků	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)	R ($m^2.K/W$)
bez zatížení	109,11841	0,05354	0,37355
50g	113,76779	0,05807	0,22833
250g	132,15095	0,06387	-
500g	141,45242	0,06682	-

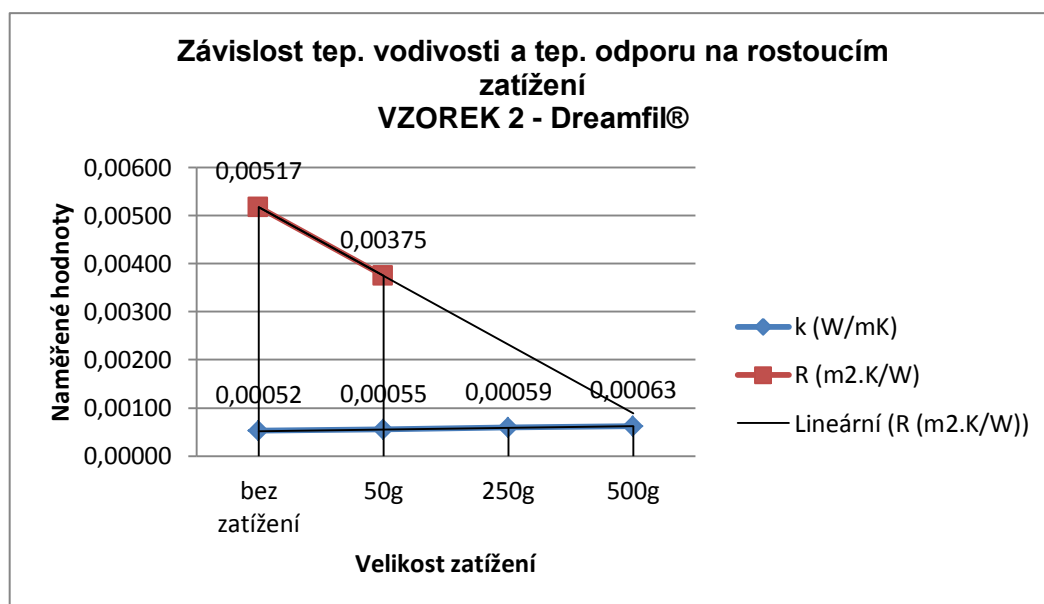


Obrázek 25 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení - VZOREK 1 - Peří²⁵

Tabulka 18 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 2 - Dreamfil®

VZOREK 2 - Dreamfil®			
Zatížení vzorků	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)	R (m2.K/W)
bez zatížení	101,52101	0,05217	0,51749
50g	103,56958	0,05487	0,37474
250g	117,87994	0,05937	-
500g	128,25915	0,06264	-

²⁵ Zdroj obrázku: vlastní

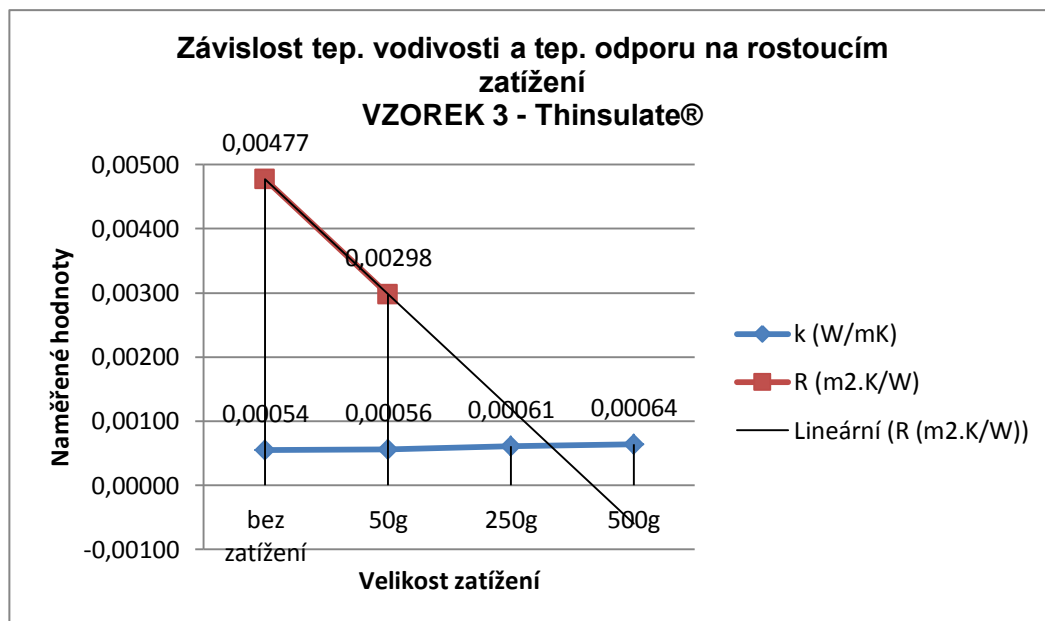


Obrázek 26 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení
- VZOREK 2 - Dreamfil®²⁶

Tabulka 19 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 3 - Thinsulate®

VZOREK 3 - Thinsulate®			
Zatížení vzorků	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)	R (m².K/W)
bez zatížení	105,69578	0,05447	0,47728
50g	107,50036	0,05610	0,29803
250g	123,10395	0,06102	-
500g	133,08811	0,06417	-

²⁶ Zdroj obrázku: vlastní

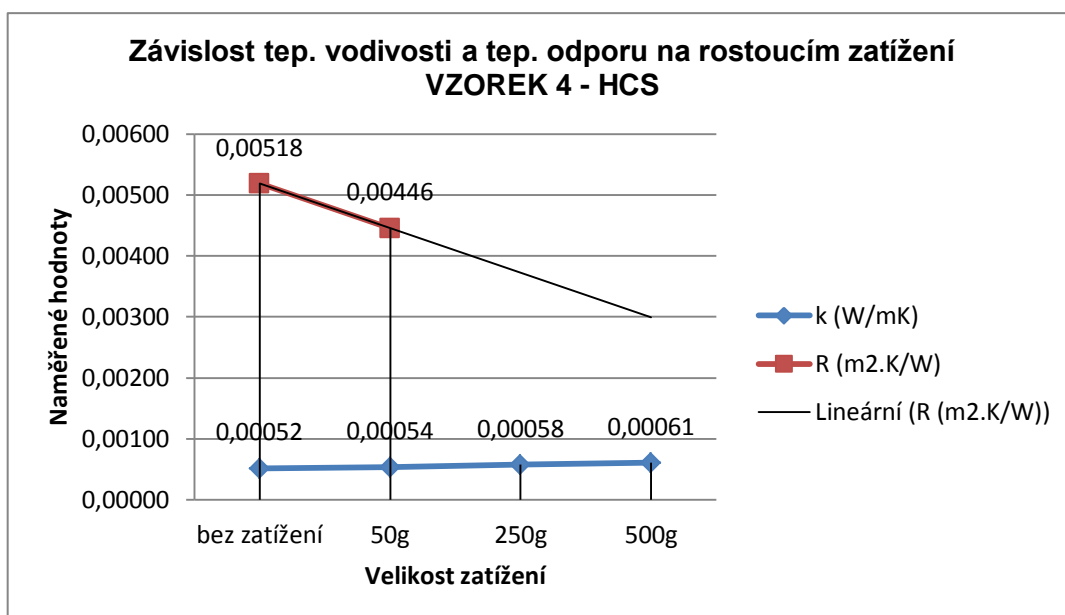


Obrázek 27 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení
- VZOREK 3 - Thinsulate®²⁷

Tabulka 20 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 4 - HCS

VZOREK 4 - HCS			
Zatížení vzorků	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)	R (m².K/W)
bez zatížení	100,20098	0,05208	0,51843
50g	101,96389	0,05436	0,44554
250g	112,27384	0,05760	-
500g	123,70946	0,06121	-

²⁷ Zdroj obrázku: vlastní

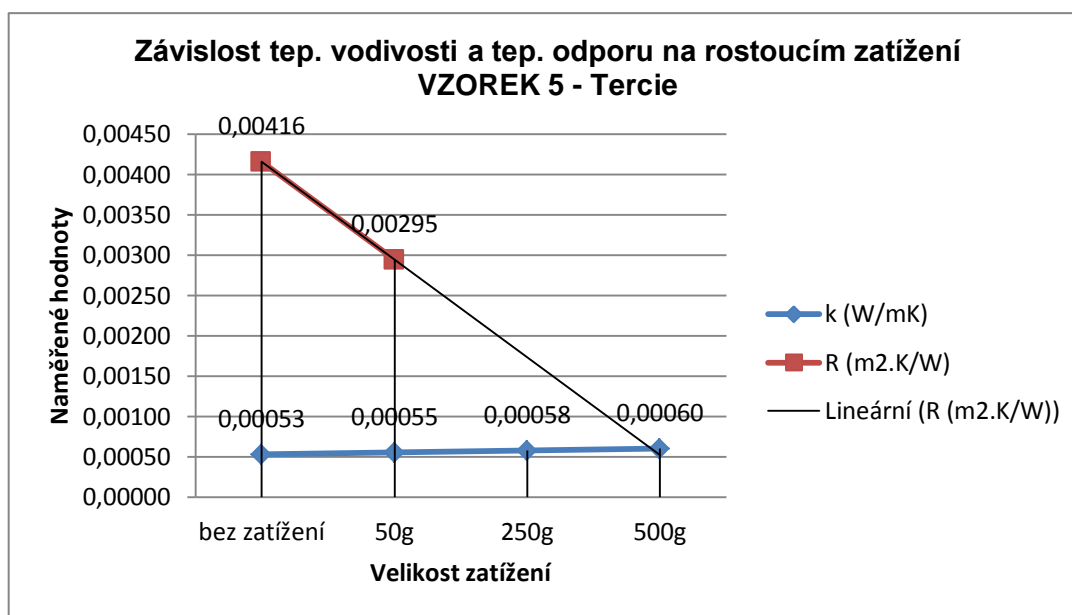


Obrázek 28 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení
- VZOREK 4 – HCS²⁸

Tabulka 21 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 5 – Tercie

VZOREK 5 - Tercie			
Zatížení vzorků	Effusivity ($Ws^{1/2}/m^2K$)	k (W/mK)	R (m2.K/W)
bez zatížení	102,82253	0,05293	0,41562
50g	104,28920	0,05509	0,29460
250g	112,43937	0,05766	-
500g	119,75806	0,05996	-

²⁸ Zdroj obrázku: vlastní



Obrázek 29 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení - VZOREK 5 - Tercie²⁹

Z výše uvedených naměřených hodnot a jejich porovnání mezi jednotlivými vzorky a jednotlivým zatížením vyplývá, že nejvyšší hodnoty tepelné vodivosti u volných vzorků bez zatížení dosahují vzorek 3 - Thinsulate®, vzorek 1 – Peří a vzorek 5 – Tercie. Zatížením vzorků o hmotnosti 50g vykazují tyto tři typy vzorků také nejvyšší hodnoty tepelné vodivosti. Při zvyšujícím se zatížení o hmotnosti 250g a 500g je patrná změna výsledných hodnot tepelné vodivosti, a to u vzorku 2 - Dreamfil®, který vykazuje výrazně vyšší hodnoty než při nižším zatížení a volném měření bez zatížení.

7.2 Měření na přístroji FOX304 instrument

Pro měření dynamickou metodou byl vybrán přístroj FOX304 instrument, znázorněný na obrázku 30 (*Obr. 30 Systém pro ohřev a chlazení vody a komora přístroje FOX304 instrument*). Nejdůležitějším úkonem před samotným zapnutím přístroje je kontrola připojení přístroje k vodě. Tato podmínka je důležitá pro zajištění správné funkce systému pro ohřev a chlazení stroje a její nedodržení by mohlo přístroj vážně poškodit.

Po zapnutí přístroje a kontrole přítoku vody je třeba otevřít dvířka komory přístroje a desky otřít suchou papírovou utěrkou. Pokud není přístroj kalibrován, je třeba provést kalibraci pomocí výběru předem uloženého nastavení kalibrace v software připojeného počítače. Dále je důležité, pro měkké a stlačitelné vzorky,

²⁹ zdroj obrázku: vlastní

nastavení tloušťky pro měření. Vzorky byly na tomto přístroji měřeny volně bez stlačení. Rozmezí mezi deskami bylo nastaveno na 100mm.

Po provedení příslušné kalibrace a nastavení tloušťky vzorku je důležité zadat také teploty pro horní a spodní desku. Pro měření vzorků byla pro spodní desku zadána teplota 35,01°C, což je teplota odpovídající teplotě lidské kůže. Pro horní desku byla zadána teplota 10,00°C. Poté se otevřou dvířka komory přístroje. Vzorek se vloží do komory přístroje mezi dvě desky, zavřou se dvířka komory přístroje a v připojeném software WinTherm32 se spustí program. Test jednoho vzorků trvá přibližně 40 – 60 minut.

Po dokončení testu spočítá software WinTherm32 hodnoty tepelné vodivosti v jednotkách $[W.m^{-1}.K^{-1}]$ nebo v jednotkách Btu $[hr^{-1}.ft^{-2}.^{\circ}F^{-1}]$. Pro měření vzorků byly využity hodnoty tepelné vodivosti v jednotkách $[W.m^{-1}.K^{-1}]$.

Pro měření bylo využito všech 5 vzorků výplní, z nichž každý vzorek byl měřen desetkrát. Vzhledem k velkému počtu měření, jsou v tabulkách uvedených v následující kapitole uvedeny pouze výsledné průměrné hodnoty měření.



Obrázek 30 Systém pro ohřev a chlazení vody a komora přístroje FOX304 instrument³⁰

7.2.1 Výsledky naměřených hodnot - FOX304 instrument

Pro dosazení do vzorců pro výpočty tepelné vodivosti, tepelné propustnosti, tepelného odporu a teplotního odporu jednotlivých vzorků byl použit průměr všech

³⁰ Zdroj obrázku: vlastní

naměřených hodnot Lambda jednotlivého vzorku. Dosazením hodnoty byly spočítány následující parametry:

Tepelná vodivost na spodní desce se vypočítá dosazením průměrné hodnoty lambda do vzorce a vynásobením konstantou 10.

$$U_1 = \lambda_L \cdot 10 \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (41)$$

Tepelná propustnost vzorku se vypočítá pomocí předem definované hodnoty $U_{bp} = 6,67 \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}$ a jejím dosazením do vzorce.

$$U_2 = \frac{(U_{bp} \cdot U_1)}{(U_{bp} - U_1)} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (42)$$

Pro výpočet **tepelné vodivosti vzorku** se do vzorce dosadí hodnota U_2 , tloušťka vzorku při 70Pa a tyto hodnoty se vydělí tisícem. V našem případě je hodnota tloušťky vzorku při 70Pa 100mm.

$$\lambda = \frac{U_2 \cdot t_i}{1000} \quad [\text{W/m} \cdot \text{K}] \quad (43)$$

Tepelný odpor se vypočítá vydělením jedné hodnotou U_2 dosazenou do vzorce pro výpočet tepelného odporu, **teplotní odpor** získáme dosazením hodnoty λ namísto hodnoty U_2 do téhož vzorce. Teplotní odpor se v tomto případě značí R' .

$$R = \frac{1}{U_2} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K/W}] \quad (44)$$

$$R' = \frac{1}{\lambda} \quad [\text{m} \cdot \text{K/W}] \quad (45)$$

Naměřené hodnoty a doplňující výpočty jednotlivých vzorků jsou uvedeny v tabulkách 22 – 31 (*Tabulka 22 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 1 – Peří; Tabulka 23 Doplňující výpočty měření – VZOREK 1 – Peří; Tabulka 24 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 2 - Dreamfil®; Tabulka 25 Doplňující výpočty měření – VZOREK 2 - Dreamfil®; Tabulka 26 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 3 - Thinsulate®; Tabulka 27 Doplňující výpočty měření – VZOREK 3 - Thinsulate®; Tabulka 28 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 4 – HCS; Tabulka 29 Doplňující výpočty měření – VZOREK 4 – HCS; Tabulka 30 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 5 – Tercie; Tabulka 31 Doplňující výpočty měření – VZOREK 5 – Tercie*).

Stěžejní hodnotou všech měření je průměrná hodnota λ [W/mK], která je výchozí hodnotou pro další výpočty. Všechny finální hodnoty výpočtů uvádí pro lepší přehlednost tabulka 32 (*Tabulka 32 Výstupní hodnoty výpočtů*), grafické znázornění je zobrazeno na obrázku 31 – 35 (*Obrázek 31 Hodnoty tepelné vodivosti na spodní desce – přístroj FOX304 instrument; Obrázek 32 Hodnoty tepelné propustnosti vzorků – přístroj FOX304 instrument; Obrázek 33 Hodnoty tepelné vodivosti vzorků – přístroj FOX304 instrument; Obrázek 34 Hodnoty tepelného odporu vzorků – přístroj FOX304 instrument; Obrázek 35 Hodnoty teplotního odporu vzorků – přístroj FOX304 instrument*).

Tabulka 33 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 1 - Peří

VZOREK 1 - Peří					
Počet měření	T upper [°C]	T lower [°C]	Q upper [μV]	Q lower [μV]	Lambda [W/mK]
1	10.00	35.01	-3864	2246	0,18380
2	10.01	35.01	-3790	2199	0,18020
3	10.01	35.01	-3801	2167	0,17950
4	10.01	35.02	-3803	2155	0,17920
5	10.02	35.03	-3810	2135	0,17880
6	10.00	35.02	-3787	2128	0,17780
7	10.02	35.02	-3795	2123	0,17800
8	10.00	35.02	-3774	2122	0,17730
9	10.02	35.02	-3792	2119	0,17780
10	10.02	35.02	-3803	2114	0,17800
Průměrná hodnota λ					0,17904

Tabulka 34 Doplnující výpočty měření – VZOREK 1 - Peří

VZOREK 1 - Peří		
TEPELNÁ VODIVOST NA SPODNÍ DESCE U1	1,79040	[W/m ² .K]
TEPELNÁ PROPUSTNOST U2	2,44733	[W/m ² .K]
TEPELNÁ VODIVOST VZORKU λ	0,24473	[W/m.K]
TEPELNÝ ODPOR R	0,40861	[m ² .K/W]
TEPLOTNÍ ODPOR R'	4,08609	[m.K/W]

Tabulka 35 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 2 - Dreamfil®

VZOREK 2 - Dreamfil®					
Počet měření	T upper [°C]	T lower [°C]	Q upper [μV]	Q lower [μV]	Lambda [W/mK]
1	10.01	35.03	-3306	3167	0,04024
2	10.01	35.02	-3301	3157	0,04016
3	10.01	35.02	-3296	3153	0,04011
4	10.01	35.02	-3294	3150	0,04008
5	10.01	35.02	-3293	3149	0,04007
6	10.01	35.02	-3291	3148	0,04005
7	10.01	35.02	-3292	3145	0,04004
8	10.01	35.02	-3291	3144	0,04003
9	10.01	35.02	-3289	3146	0,04002
10	10.01	35.02	-3290	3142	0,04001
Průměrná hodnota λ					0,04008

Tabulka 36 Doplnující výpočty měření – VZOREK 2 - Dreamfil®

VZOREK 2 - Dreamfil®		
TEPELNÁ VODIVOST NA SPODNÍ DESCE U1	0,40081	[W/m².K]
TEPELNÁ PROPUSTNOST U2	0,42644	[W/m².K]
TEPELNÁ VODIVOST VZORKU λ	0,04264	[W/m.K]
TEPELNÝ ODPOR R	2,34502	[m².K/W]
TEPLOTNÍ ODPOR R'	23,45023	[m.K/W]

Tabulka 37 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 3 - Thinsulate®

VZOREK 3 - Thinsulate®					
Počet měření	T upper [°C]	T lower [°C]	Q upper [μV]	Q lower [μV]	Lambda [W/mK]
1	9.91	35.01	-3531	3387	0,03488
2	10.01	35.01	-3464	3324	0,03437
3	10.01	35.01	-3451	3310	0,03422
4	10.01	35.02	-3443	3304	0,03415
5	10.01	35.02	-3439	3298	0,03409
6	10.01	35.02	-3438	3293	0,03406
7	10.01	35.02	-3436	3291	0,03405
8	10.01	35.02	-3436	3289	0,03404
9	10.01	35.02	-3436	3289	0,03404
10	10.01	35.02	-3435	3287	0,03402
Průměrná hodnota λ					0,03419

Tabulka 38 Doplnující výpočty měření – VZOREK 3 - Thinsulate®

VZOREK 3 - Thinsulate®		
TEPELNÁ VODIVOST NA SPODNÍ DESCE U1	0,34192	[W/m ² .K]
TEPELNÁ PROPUSTNOST U2	0,36039	[W/m ² .K]
TEPELNÁ VODIVOST VZORKU λ	0,03604	[W/m.K]
TEPELNÝ ODPOR R	2,77474	[m ² .K/W]
TEPLOTNÍ ODPOR R'	27,74736	[m.K/W]

Tabulka 39 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 4 – HCS

VZOREK 4 - HCS					
Počet měření	T upper [°C]	T lower [°C]	Q upper [μV]	Q lower [μV]	Lambda [W/mK]
1	10.01	35.02	-3490	3375	0,05026
2	10.01	35.03	-3478	3360	0,05006
3	10.01	35.02	-3472	3352	0,04996
4	10.01	35.02	-3468	3347	0,04990
5	10.01	35.02	-3466	3344	0,04987
6	10.01	35.02	-3464	3341	0,04984
7	10.01	35.02	-3463	3341	0,04982
8	10.01	35.02	-3463	3339	0,04981
9	10.01	35.02	-3462	3338	0,04980
10	10.01	35.02	-3462	3336	0,04979
Průměrná hodnota λ					0,04991

Tabulka 40 Doplnující výpočty měření – VZOREK 4 – HCS

VZOREK 4 - HCS		
TEPELNÁ VODIVOST NA SPODNÍ DESCE U1	0,49911	[W/m ² .K]
TEPELNÁ PROPUSTNOST U2	0,53948	[W/m ² .K]
TEPELNÁ VODIVOST VZORKU λ	0,05395	[W/m.K]
TEPELNÝ ODPOR R	1,85364	[m ² .K/W]
TEPLOTNÍ ODPOR R'	18,53641	[m.K/W]

Tabulka 41 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 5 – Tercie

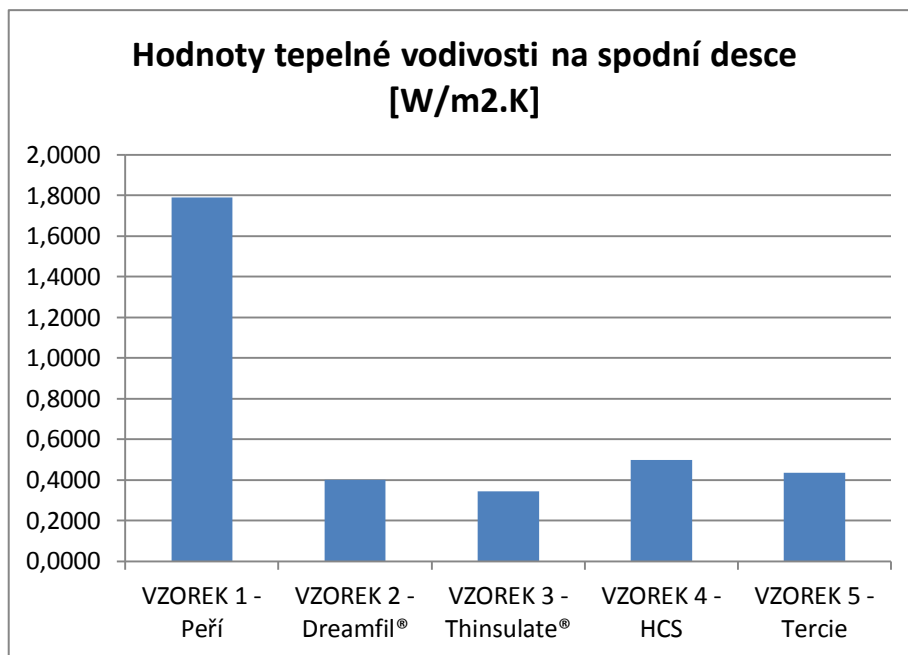
VZOREK 5 - Tercie					
Počet měření	T upper [°C]	T lower [°C]	Q upper [μV]	Q lower [μV]	Lambda [W/mK]
1	10.01	35.02	-4518	4343	0,04350
2	10.01	35.02	-4514	4335	0,04344
3	10.01	35.02	-4511	4332	0,04341
4	10.01	35.02	-4510	4329	0,04339
5	10.01	35.02	-4508	4328	0,04338
6	10.01	35.02	-4507	4327	0,04337
7	10.01	35.02	-4507	4327	0,04337
8	10.01	35.02	-4506	4325	0,04336
9	10.01	35.02	-4505	4324	0,04335
10	10.01	35.02	-4505	4324	0,04335
Průměrná hodnota λ					0,04339

Tabulka 42 Doplnující výpočty měření – VZOREK 5 – Tercie

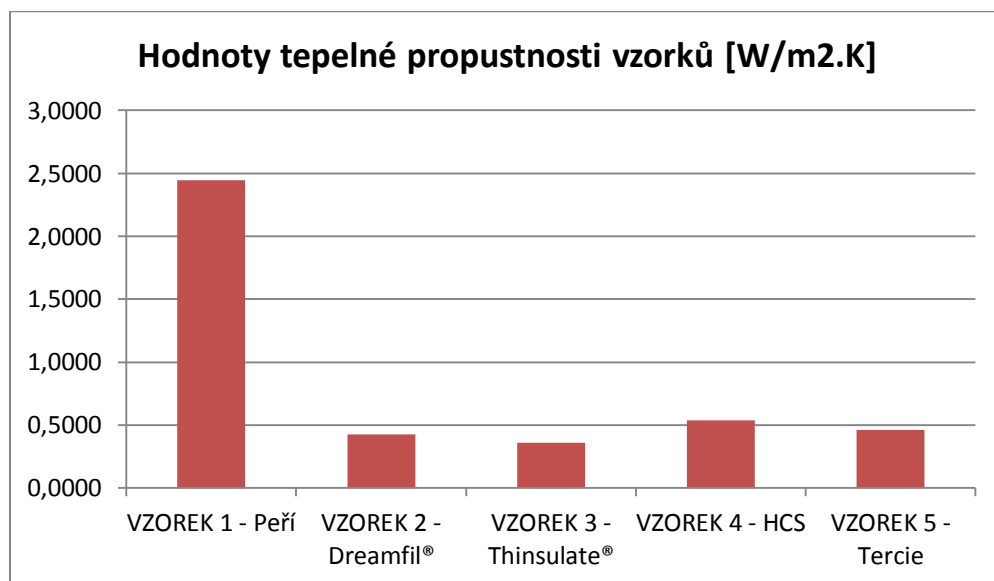
VZOREK 5 - Tercie		
TEPELNÁ VODIVOST NA SPODNÍ DESCE U1	0,43392	[W/m ² .K]
TEPELNÁ PROPUSTNOST U2	0,46411	[W/m ² .K]
TEPELNÁ VODIVOST VZORKU λ	0,04641	[W/m.K]
TEPELNÝ ODPOR R	2,15465	[m ² .K/W]
TEPLOTNÍ ODPOR R'	21,54647	[m.K/W]

Tabulka 43 Výstupní hodnoty výpočtů

Typ vzorku	Tepelná vodivost na spodní desce [W/m ² .K]	Tepelná propustnost [W/m ² .K]	Tepelná vodivost vzorku [W/m.K]	Tepelný odpor [m ² .K/W]	Teplotní odpor [m.K/W]
VZOREK 1 - Peří	1,7904	2,4473	0,2447	0,4086	4,0861
VZOREK 2 - Dreamfil®	0,4008	0,4264	0,0426	2,3450	23,4502
VZOREK 3 - Thinsulate®	0,3419	0,3604	0,0360	2,7747	27,7474
VZOREK 4 - HCS	0,4991	0,5395	0,0539	1,8536	18,5364
VZOREK 5 - Tercie	0,4339	0,4641	0,0464	2,1546	21,5465



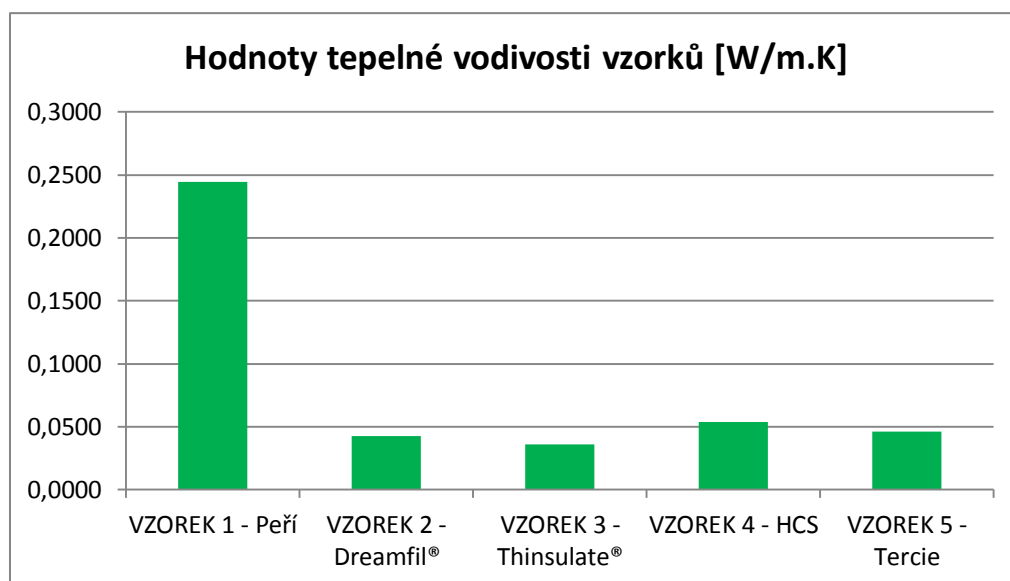
Obrázek 36 Hodnoty tepelné vodivosti na spodní desce – přístroj FOX304 instrument³¹



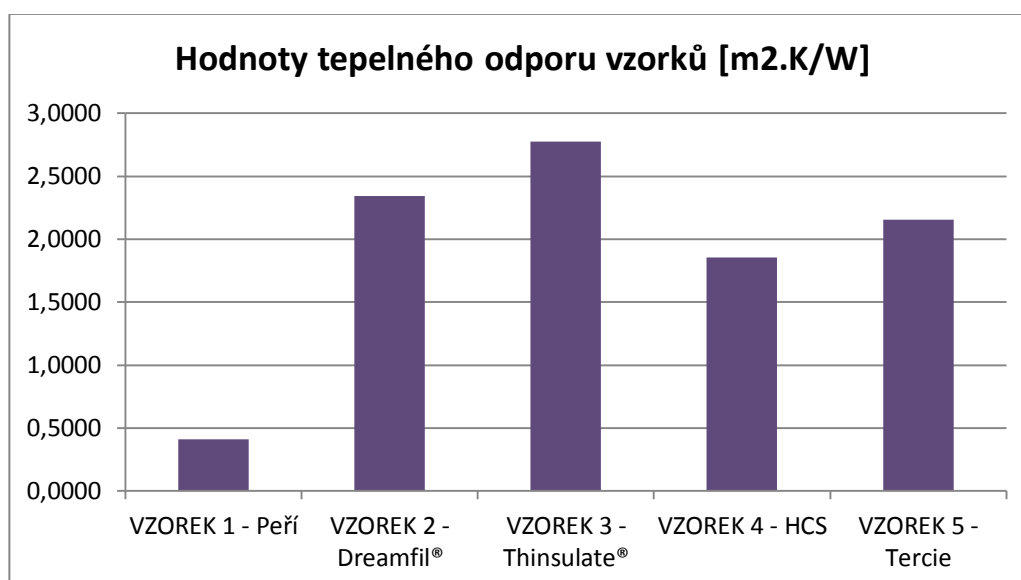
Obrázek 37 Hodnoty tepelné propustnosti vzorků – přístroj FOX304 instrument³²

³¹ Zdroj obrázku: vlastní

³² Zdroj obrázku: vlastní



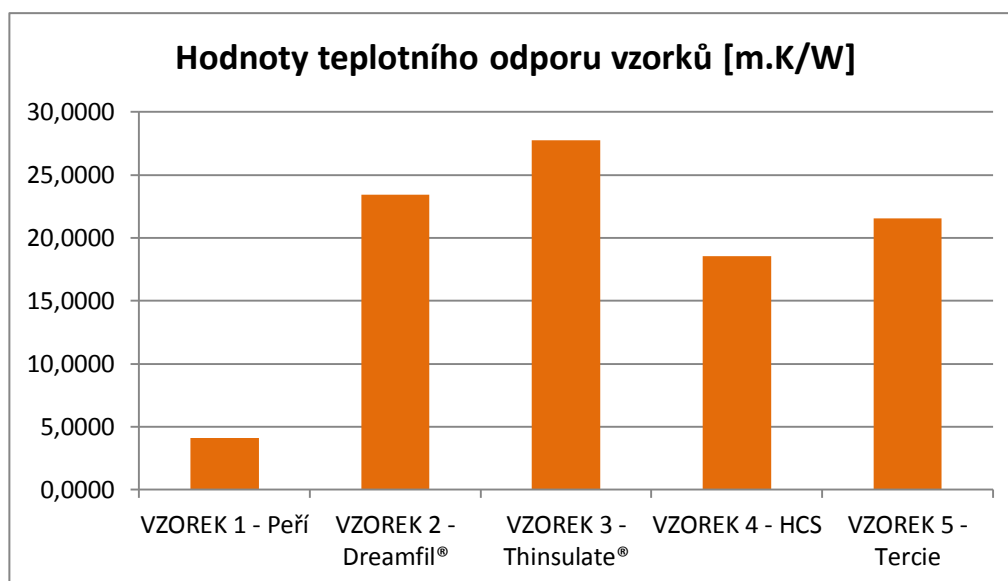
Obrázek 38 Hodnoty tepelné vodivosti vzorků – přístroj FOX304 instrument³³



Obrázek 39 Hodnoty tepelného odporu vzorků – přístroj FOX304 instrument³⁴

³³ Zdroj obrázku: vlastní

³⁴ Zdroj obrázku: vlastní



Obrázek 40 Hodnoty teplotního odporu vzorků – přístroj FOX304 instrument³⁵

Z porovnání graficky znázorněných výsledných hodnot je patrné, že v případě tepelné vodivosti na spodní desce, tepelné propustnosti a tepelné vodivosti dosahují nejvyšších hodnot Vzorek 1 – Peří, Vzorek 4 – HCS a Vzorek 5 – Tercie. U tepelného a teplotního odporu jsou tyto vzorky zástupci nejnižších hodnot tepelného a teplotního odporu. Nejvýraznějších výsledků dosahuje Vzorek 1 – Peří, přestože se jedná o výplň velmi nízké kvality.

Pokud bychom zkoušené vzorky hodnotili dle kvality použitých vláken v náplni, vykazují vzorky obsahující vlákna nižší kvality, při tomto způsobu měření, lepších výsledků než vzorky výplní, které obsahují vlákna vyšších jemností případně vlákna o jemnosti mikrovláken.

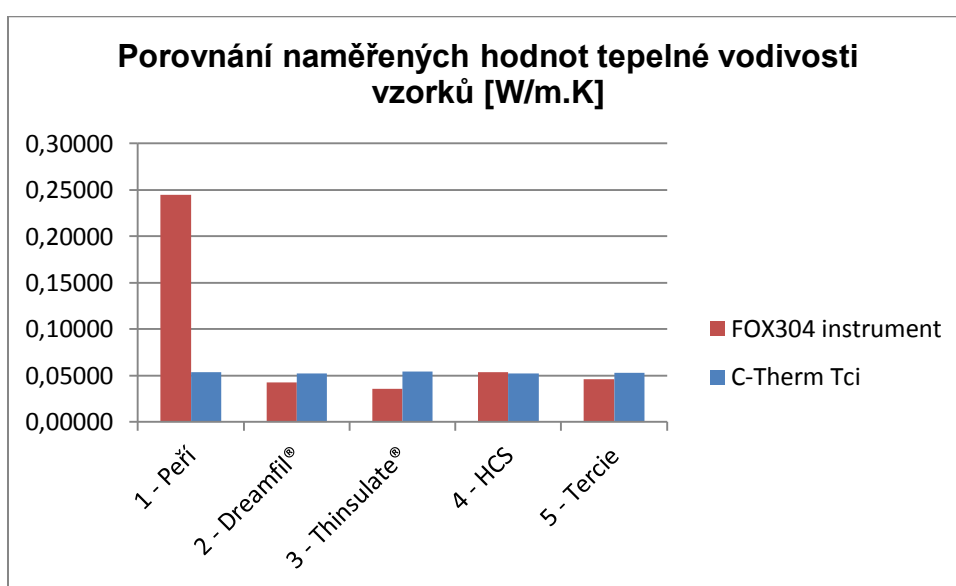
7.3 Analýza naměřených hodnot

Měřením tepelné vodivosti a tepelného odporu na přístroji C-Therm TCi a FOX304 instrument byly získány výsledné hodnoty tepelné vodivosti a tepelného odporu pro jednotlivé vzorky. Jejich přehled uvádí tabulka 33 (*Tabulka 33 Výsledné hodnoty tepelné vodivosti a tepelného odporu*), grafické zobrazení výsledných hodnot pak představuje obrázek 36 (*Obrázek 36 Porovnání hodnot tepelné vodivosti – FOX304 a C-Therm Tci*).

³⁵ Zdroj obrázku: vlastní

Tabulka 44 Výsledné hodnoty tepelné vodivosti a tepelného odporu

Typ vzorku	FOX304 instrument		C-Therm Tci	
	Tepelná vodivost vzorku [W/m.K]	Tepelný odpor [m ² .K/W]	Tepelná vodivost vzorku [W/m.K]	Tepelný odpor [m ² .K/W]
1 - Peří	0,24473	0,40861	0,05354	0,37355
2 - Dreamfil®	0,04264	2,34502	0,05217	0,51749
3 - Thinsulate®	0,03604	2,77474	0,05447	0,47728
4 - HCS	0,05395	1,85364	0,05208	0,51843
5 - Tercie	0,04641	2,15465	0,05293	0,41562



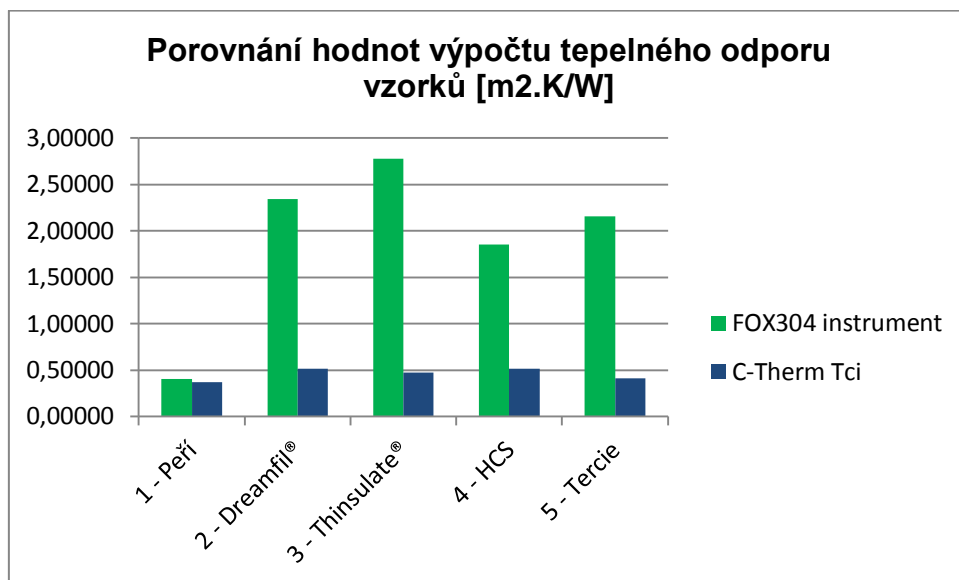
Obrázek 41 Porovnání hodnot tepelné vodivosti – FOX304 a C-Therm Tci³⁶

Jak je patrné z grafického znázornění na obrázku 36 výrazně vyšších hodnot tepelné vodivosti získané měřením na přístroji FOX304, které několikanásobně převyšují hodnoty získané měřením na přístroji C-Therm Tci vykazuje vzorek 1 – Peří. Tento vzorek by tedy vykazoval vysokou tepelnou vodivost, zatímco hodnoty tepelného odporu jsou odpovídající a vykazují přibližně shodné hodnoty vyplývající z měření na přístroji FOX304, tak z měření na přístroji C-Therm Tci.

Ostatní vzorky, vzorek 2 - Dreamfil®, vzorek 3 - Thinsulate®, vzorek 4 – HCS a vzorek 5 – Tercie, vykazují v naměřených hodnotách z obou přístrojů minimální rozdíly. U vzorku 1 – peří lze uvažovat jako možnou příčinu zvýšené hodnoty tepelné vodivosti zvýšenou vlhkostí obsaženou ve vzorku oproti ostatním vzorkům a při měření na

³⁶ Zdroj obrázku: vlastní

přístroji FOX304 je využita celá plocha vzorku. Tato skutečnost by však měla být dále zkoumána z hlediska navlhavosti, neboť peří disponuje vyšší navlhavostí než syntetické výplně.



Obrázek 42 Porovnání hodnot tepelného odporu – FOX304 a C-Therm Tci³⁷

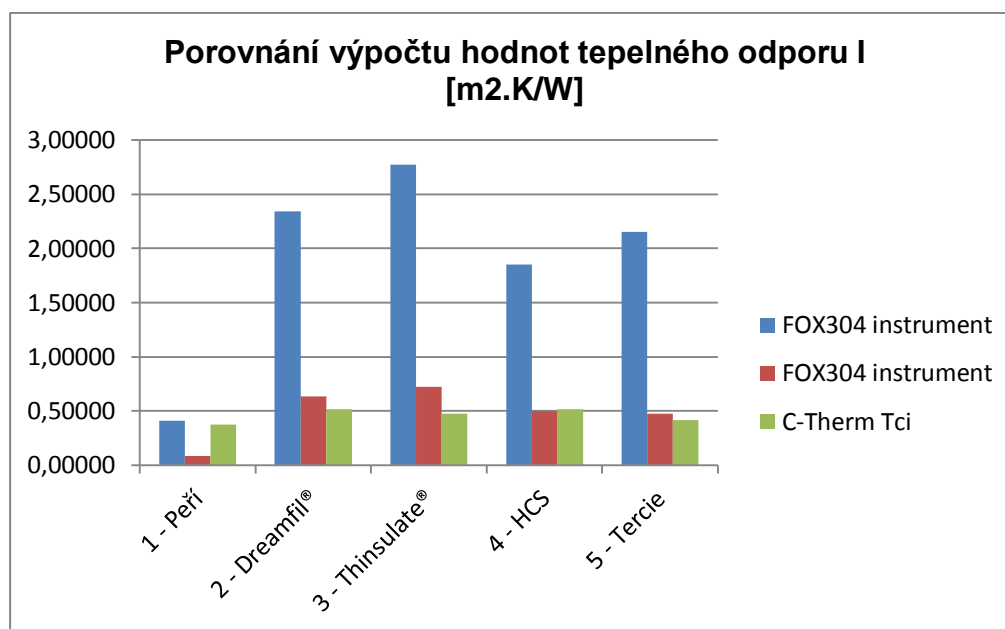
Porovnání hodnot výpočtů tepelného odporu zobrazuje obrázek 37 (Obrázek 37 Porovnání hodnot tepelného odporu – FOX304 a C-Therm Tci). Zde jsou patrné vysoké hodnoty tepelného odporu dle výsledků vypočtených hodnot pro přístroj FOX304 u vzorku 2 - Dreamfil®, vzorku 3 - Thinsulate®, vzorku 4 – HCS a vzorku 5 – Tercie, které jsou výrazně vyšší než výsledné hodnoty dle měření na přístroji C-Therm Tci. Jediný zástupce, kde nejsou patrné výrazné rozdíly mezi oběma přístroji, je vzorek 1 – Peří. Stěžejní hodnotou pro výpočet tepelného odporu, dle předem zadaných kritérií výpočtů doplňujících veličin, je hodnota tepelné propustnosti. Od výše hodnoty tepelné propustnosti se následně odvíjí výsledek výpočtu tepelného odporu.

Z důvodu velkých rozdílných hodnot výpočtu byl proveden další výpočet tepelného odporu dosazením průměrné hodnoty λ a tloušťky nestlačeného vzorku do vzorce pro výpočet tepelného odporu. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 34 (Tabulka 34 Doplňující výpočet tepelného odporu). Grafické znázornění hodnot zobrazuje obrázek 38 (Obrázek 38 Porovnání doplňujícího výpočtu hodnot tepelného odporu).

³⁷ Zdroj obrázku: vlastní

Tabulka 45 Doplnující výpočet tepelného odporu

Typ vzorku	FOX304 instrument			C-Therm Tci	
	Tepelná vodivost vzorku [W/m.K]	Tepelný odpor [m ² .K/W]	Tepelný odpor R=d/k [m ² .K/W]	Tepelná vodivost vzorku [W/m.K]	Tepelný odpor [m ² .K/W]
1 - Peří	0,24473	0,40861	0,08172	0,05354	0,37355
2 - Dreamfil®	0,04264	2,34502	0,63316	0,05217	0,51749
3 - Thinsulate®	0,03604	2,77474	0,72143	0,05447	0,47728
4 - HCS	0,05395	1,85364	0,50048	0,05208	0,51843
5 - Tercie	0,04641	2,15465	0,47402	0,05293	0,41562



Obrázek 43 Porovnání doplňujícího výpočtu hodnot tepelného odporu³⁸

Posuzujeme-li výsledné měření, nejvíce vodivé se v nestlačeném stavu u přístroje C-Therm Tci jeví vzorek 3 – Thinsulate, dále vzorek 1 – Peří. Ostatní vzorky vykazují v nestlačeném stavu při měření na tomto typu přístroje přibližně stejné hodnoty tepelné vodivosti. Vzhledem k tepelnému odporu vykazuje nejlepší hodnoty vzorek 4 – HCS a vzorek 2 - Dreamfil®. Nejvyšší hodnotu tepelného odporu vykazuje vzorek 1 – Peří.

Dle výsledků měření na přístroji FOX304 instrument v nestlačeném stavu se jako nejvíce vodivé jeví vzorek 1 – Peří, vzorek 4 – HCS vzorek 2 - Dreamfil®. Ostatní

³⁸ Zdroj obrázku: vlastní

vzorky vykazují hodnoty podstatně nižší. Vzhledem k extrémně rozdílným hodnotám tepelného odporu u tohoto přístroje je složité určit relevantnost výsledných hodnot. Vezmeme-li v úvahu správnost výsledku, pak by nejlepším izolantem, z hlediska nejvyšších hodnot tepelného odporu, byl vzorek 3 - Thinsulate®, vzorek 2 - Dreamfil® a vzorek 5 – Tercie. První dva zmíněné vzorky vykazují odpovídající hodnoty tepelného odporu také při doplňujících výpočtech.

Vlivem zatížení se hodnoty tepelné vodivosti jednotlivých vzorků zvyšují a současně se snižují hodnoty tepelného odporu. Rozdíly hodnot tepelné vodivosti měřené na obou typech přístrojů jsou, až na jeden typ vzorku, minimální.

8 ZÁVĚR

Hlavním úkolem této bakalářské práce bylo měření a vyhodnocení tepelně izolačních vlastností textilních materiálů používaných pro výplně za pomoci dvou způsobů měření, metody statické a metody dynamické. Dále měla za úkol porovnat výsledné hodnoty měření ve stlačeném a nestlačeném stavu a vliv zvyšujícího se stlačení na tyto výsledné hodnoty z hlediska vodivosti textilií.

Teoretická část práce je zaměřena na vysvětlení základních pojmů, spojených s tepelně izolačními vlastnostmi látek a materiálů, které jsou velmi důležité pro další experimenty. Jsou zde vysvětleny pojmy spojené s teplem, tepelnou vodivostí, tepelným odporem. Významná část práce je věnována také popisu mechanismů přenosu tepla, způsobům zjišťování tepelně izolačních vlastností a přístroji používanými k jejich zjišťování. Zvláště kapitola věnovaná způsobům měření tepelné vodivosti je obsáhlá a zahrnuje co nejvíce možných způsobů měření. Pro vysvětlení významnosti tepelných vlastností výplňových materiálů, v oděvech a jiných textilních výrobcích, je zde popsán také význam fyziologických vlastností pro člověka při užívání těchto výrobků. Zmíněno je také hodnocení fyziologických vlastností. Závěr teoretické části práce se věnuje popisu vybraných typů výplňových materiálů, jejich možnostmi využití a dosahovanými vlastnostmi.

Praktická část práce popisuje technické specifikace měřených vzorků. Hlavním tématem praktické části je však samotné měření vzorků na vybraných typech přístrojů statickou a dynamickou metodou. Jako zástupci těchto dvou metod byly vybrány přístroje pro měření tepelných vlastností dostupné v laboratořích technické univerzity v Liberci. Pro měření metodou statickou byl vybrán relativně nový přístroj nacházející se v laboratořích a to FOX304 instrument od firmy Lasercomp.

Pro měření metodou dynamickou byl vybrán přístroj C-Therm Tci od společnosti C-Therm Technologies, nacházející se v laboratoři Katedry oděvnictví. Měřeno bylo celkem 5 typů vzorků, od každého vzorku bylo provedeno 10 měření, ze kterých byly poté vypočteny průměrné hodnoty. Tyto výsledné hodnoty byly porovnány v uvedených tabulkách a také grafickým znázorněním. Některé typy vybraných vzorků dosahovaly předem očekávaných vlastností, avšak některé výsledné hodnoty byly překvapující a to zvláště při měření na přístroji FOX304 instrument. Přes tyto výsledné hodnoty však nejvyšších hodnot tepelné vodivosti dosahovaly vzorky, u kterých byla tato vlastnost deklarována již samotným výrobcem na základě jejich materiálového složení. Zajímavým zjištěním byly výsledné hodnoty u vzorků výplní, které byly uvedeny pro měření jako standardní výplně nízké jakosti. Velký vliv na výsledné hodnoty měla také navlhavost, kdy lze u extrémních hodnot jednoho z uvedených

vzorků uvažovat vliv této vlhkosti na tento výsledek. Vyšších hodnot tepelné vodivosti dosahovaly také vzorky, které byly měřeny při zatížení, jelikož vlivem stlačení se zvyšuje hodnota tepelné vodivosti, zatímco hodnota tepelného odporu se snižuje.

Vhodným doplněním práce by byl následný experiment porovnání těchto materiálů z hlediska degradace při používání, zejména vlivem mechanického namáhání a vlivem zvyšující se vlhkosti. Vzhledem k prozatím ojedinělému využívání přístroje FOX304 instrument a zadané fixní hodnotě 100mm pro stanovení tloušťky vzorku, respektive rozpětí desek přístroje, se také jeví jako vhodné detailnější rozbor možností měření na tomto přístroji. Především více typů materiálů rozdílné tloušťky, neboť při samotném zkušebním měření a zadání skutečné tloušťky vzorku a tloušťky vzorku po zatížení, nebylo při současném nastavení přístroje možné provést.

LITERATURA

- [1] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: Fyzika, VUT, Brno, 2000
- [2] Cit.: Hes, L., Sluka, P.: Úvod do komfortu textilií, skriptum, TUL, Liberec, 2005
- [3] Militký, J., Vaníček, P.: Vlastnosti vláken, literatura k přednáškám, TUL, Liberec, 2002
- [4] Delljová R. A., Afanasjevová R. F., Čubarovová Z. S.: Hygiena odívání, SNTL, Praha 1984
- [5] Horníček, P.: Odvod vlhkosti a tepla z povrchu lidského těla, skriptum, TUL, 2002
- [6] www.kfy.zcu.cz [online], 2013, [cit. 26. 8. 2013]. Přenos tepla, dostupné z [www](http://www.kfy.zcu.cz/dokumenty/FYSV/PrenosTepla.pdf):
<http://www.kfy.zcu.cz/dokumenty/FYSV/PrenosTepla.pdf>
- [7] www.kod.tul.cz [online], 2009, [cit. 2. 9. 2013]. Oděvní komfort, Fyziologie odívání, dostupné z [www](http://www.kod.tul.cz):
http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska6_2012.pdf
- [8] Šorin, S. N.: Sdílení tepla, SNTL, Praha, Bratislava, 1968
- [9] Michejev, M. A.: Základy sdílení tepla, Průmyslové vydavatelství, Praha, 1952
- [10] www.kod.tul.cz [online], 2009, [cit. 10. 9. 2013]. Fyziologické vlastnosti oděvních materiálů I, dostupné z [www](http://www.kod.tul.cz):
http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska7_2012.pdf
- [11] Horák, Z.: Praktická fyzika, SNTL, Praha, 1968
- [12] Kuno, Z.: Tepelné izolácie a meranie tepelných ztrát, SNTL, Praha, 1963
- [14] www.cvut.cz [online], 2012, [cit. 10. 10. 2013]. Tepelné a akustické vlastnosti stavebních materiálů, dostupné z [www](http://www.cvut.cz):
http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/IZMA/prednaskaIII_IZMA.pdf
- [15] Manuál k přístroji Thermal Conductivity Analyzer TCi – Model C-Therm TCi, TUL, Liberec, 2013
- [16] www.kod.tul.cz [online], 2009, [cit. 10. 9. 2013]. E-learningová podpora výuky v laboratořích katedry oděvnictví, dostupné z [www](http://www.kod.tul.cz):
<http://krakatice.kod.tul.cz/frvs2025/?chap=5&pg=1>
- [17] Manuál k přístroji FOX314, LaserComp, Inc. 1999-2011, TUL, Liberec, 2013
- [18] www.ft.tul.cz [online], 2005, [cit. 15. 4. 2013]. Vybrané kapitoly z textilního zkušebnictví, dostupné z [www](http://www.ft.tul.cz):
<http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/TextilniZkusebnictvi.pdf>

- [19] www.kod.tul.cz [online], 2009, [cit. 23. 10. 2013]. Fyziologické vlastnosti II., dostupné z [www](http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska8_2012.pdf):
http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska8_2012.pdf
- [20] [Svetoutdooru.cz](http://www.svetoutdooru.cz) [online], 2013, [cit. 23. 10. 2013]. Rady – peří, dostupné z [www](http://www.svetoutdooru.cz/rady/peri/):
<http://www.svetoutdooru.cz/rady/peri/>
- [21] [4-outdoor.cz](http://www.4-outdoor.cz) [online], 2013, [cit. 23. 10. 2013]. ČSN EN 13537 Požadavky na spací pytle, dostupné z [www](http://www.4-outdoor.cz/4-outdoor-cz/1-MATERIALY/45-Norma-pro-spaci-pytle-EN-13537): <http://www.4-outdoor.cz/4-outdoor-cz/1-MATERIALY/45-Norma-pro-spaci-pytle-EN-13537>
- [22] www.ft.tul.cz [online], 2005, [cit. 15. 4. 2013]. Chemická vlákna ze syntetických polymerů, dostupné z [www](http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/synteticka_vlakna.pdf):
http://www.ft.tul.cz/depart/ktm/files/synteticka_vlakna.pdf
- [23] Manuál k přístroji SDL M034 A – Digitální tloušťkoměr, TUL, Liberec, 2013
- [24] [Antpetr.cz](http://www.antpetr.cz) [online], 2011, [cit. 14. 8. 2013], Polyesterová střížová vlákna, dostupné z [www](http://www.antpetr.cz): www.antpetr.cz
- [25] [Fiberpartner.com](http://www.fiberpartner.com), [online], 2013 [cit. 30. 11. 2013], Hollow fibers, dostupné z [www](http://www.fiberpartner.com/products/fibers/): <http://www.fiberpartner.com/products/fibers/>
- [26] [Surplusandadventure.com](http://www.surplusandadventure.com) [online], 2013 [cit. 30. 11. 2013]. Product information – Thinsulate, dostupné z [www](http://www.surplusandadventure.com/shop/home/product-information/thinsulate.html):
<http://www.surplusandadventure.com/shop/home/product-information/thinsulate.html>
- [27] [Solutions.3m.com](http://solutions.3m.com) [online], 2013 [cit. 12. 6. 2013]. What is 3MTM Thinsulate™ Insulation?, dostupné z [www](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Thinsulate_Insulation/Homepage/AboutUs/WhatIsThinsulate):
http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Thinsulate_Insulation/Homepage/AboutUs/WhatIsThinsulate
- [28] [Ctherm.com](http://www.ctherm.com) [online], 2013 [cit. 29. 9. 2013]. Thermal Conductivity Analyzer Tci, dostupné z [www](http://www.ctherm.com/products/tci_thermal_conductivity/?referrer=AZONANO):
http://www.ctherm.com/products/tci_thermal_conductivity/?referrer=AZONANO
- [29] [Fibertex.com](http://www.fibertex.com) [online], 2013 [cit. 21. 8. 2013] Termicky spojené netkané textilie, dostupné z [www](http://www.fibertex.com/cs-CZ/Produkty/Nabytek/Produkty/Pages/TermickePojeni.aspx): <http://www.fibertex.com/cs-CZ/Produkty/Nabytek/Produkty/Pages/TermickePojeni.aspx>
- [30] www.kod.tul.cz [online], 2009, [cit. 3. 12. 2013]. Klasifikace oděvních materiálů, dostupné z [www](http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska2_2013.pdf):
http://www.kod.tul.cz/predmety/OM/prednasky/OM_prednaska2_2013.pdf
- [31] Interní norma č. 23-303-01/01, Zjišťování stupně vlhkostní jímavosti textilií, Výzkumné centrum Textil, Sekce B – Textilní materiály a konstrukce textilních výrobků, TUL, Liberec, 2003

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Přístroj pro měření tepelné vodivosti podle Poensgena	25
Obrázek 2 Schéma přístroje pro měření tepelné vodivosti podle Bocka	26
Obrázek 3 Schéma přístroje Togmeter	29
Obrázek 4 Schéma přístroje pro měření tepelné vodivosti podle Fitcha	35
Obrázek 5 Schéma přístroje Alambeta	36
Obrázek 6 Schéma oděvního systému	44
Obrázek 7 Měření propustnosti vodních par	50
Obrázek 8 Prostup vzduchu	51
Obrázek 9 Přístroj pro měření prodyšnosti	51
Obrázek 10 Způsoby průniku vody textilií	53
Obrázek 11 Digitální tloušťkoměr SDL M034 A	55
Obrázek 12 Peří a péřový prach v porovnání se syntetickým vláknem	58
Obrázek 13 Směs polyesterových plných a dutých vláken	60
Obrázek 14 Průřez dutými polyesterovými vlákny	61
Obrázek 15 Profily syntetických vláken Wellman	62
Obrázek 16 Porovnání vlákenné struktury materiálu Thinsulate® (vlevo)	63
Obrázek 17 Znázornění funkčnosti Thinsulate®	63
Obrázek 18 Termicky spojená rouna Tercie	64
Obrázek 19 Model přístroje C-Therm TCi	67
Obrázek 20 Grafické znázornění hodnot tepelné vodivosti vzorků – bez zatížení	74
Obrázek 21 Grafické znázornění hodnot tepelné vodivosti vzorků – při zatížení 50g	75
Obrázek 22 Grafické znázornění hodnot tepelné vodivosti vzorků – při zatížení 250g	76
Obrázek 23 Grafické znázornění hodnot tepelné vodivosti vzorků – při zatížení 500g	77
Obrázek 24 Grafické znázornění hodnot tepelného odporu bez zatížení a v závislosti na zatížení 50g	77

Obrázek 25 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení - VZOREK 1 - Peří	79
Obrázek 26 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení	80
Obrázek 27 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení	81
Obrázek 28 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení	82
Obrázek 29 Závislost tepelné vodivosti a tepelného odporu na rostoucím zatížení	83
Obrázek 30 Systém pro ohřev a chlazení vody a komora přístroje FOX304 instrument	84
Obrázek 31 Hodnoty tepelné vodivosti na spodní desce – přístroj FOX304 instrument	90
Obrázek 32 Hodnoty tepelné propustnosti vzorků – přístroj FOX304 instrument	90
Obrázek 33 Hodnoty tepelné vodivosti vzorků – přístroj FOX304 instrument	91
Obrázek 34 Hodnoty tepelného odporu vzorků – přístroj FOX304 instrument	91
Obrázek 35 Hodnoty teplotního odporu vzorků – přístroj FOX304 instrument	92
Obrázek 36 Porovnání hodnot tepelné vodivosti – FOX304 a C-Therm TCi	93
Obrázek 37 Porovnání hodnot tepelného odporu – FOX304 a C-Therm TCi	94
Obrázek 38 Porovnání doplňujícího výpočtu hodnot tepelného odporu	95

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Teplota kůže a tepelné pocity	42
Tabulka 2 Vliv termoregulačních mechanismů	42
Tabulka 3 Výsledky měření VZOREK 1 – Peří - bez zatížení, zatížení 50g	68
<i>Tabulka 4 Výsledky měření VZOREK 1 – Peří - zatížení 250g, zatížení 500g</i>	69
Tabulka 5 Výsledky měření VZOREK 2 - Dreamfil® - bez zatížení, zatížení 50g	69
Tabulka 6 Výsledky měření VZOREK 2 - Dreamfil® - zatížení 250g, zatížení 500g	70
Tabulka 7 Výsledky měření VZOREK 3 - Thinsulate® - bez zatížení, zatížení 50g	70
Tabulka 8 Výsledky měření VZOREK 3 - Thinsulate® - zatížení 250g, zatížení 500g	71
Tabulka 9 Výsledky měření VZOREK 4 – HCS – bez zatížení, zatížení 50g	71
Tabulka 10 Výsledky měření VZOREK 4 – HCS – zatížení 250g, zatížení 500g	72
Tabulka 11 Výsledky měření VZOREK 5 – Tercie – bez zatížení, zatížení 50g	72
Tabulka 12 Výsledky měření VZOREK 5 – Tercie – zatížení 250g, zatížení 500g	73
Tabulka 13 Průměrné výsledné hodnoty vzorků bez zatížení	74
Tabulka 14 Průměrné výsledné hodnoty vzorků při zatížení 50g	75
Tabulka 15 Průměrné výsledné hodnoty vzorků při zatížení 250g	75
Tabulka 16 Průměrné výsledné hodnoty vzorků při zatížení 500g	76
Tabulka 17 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 1 - Peří	78
Tabulka 18 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 2 - Dreamfil®	79
Tabulka 19 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 3 - Thinsulate®	80
Tabulka 20 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 4 - HCS	81
Tabulka 21 Výsledné průměrné hodnoty při všech zatíženích – VZOREK 5 – Tercie	82
Tabulka 22 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 1 - Peří	86
Tabulka 23 Doplnující výpočty měření – VZOREK 1 - Peří	86
Tabulka 24 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 2 - Dreamfil®	87

Tabulka 25 Doplnující výpočty měření – VZOREK 2 - Dreamfil®	87
Tabulka 26 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 3 - Thinsulate®	87
Tabulka 27 Doplnující výpočty měření – VZOREK 3 - Thinsulate®	88
Tabulka 28 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 4 – HCS	88
Tabulka 29 Doplnující výpočty měření – VZOREK 4 – HCS	88
Tabulka 30 Průměrné hodnoty měření – VZOREK 5 – Tercie	89
Tabulka 31 Doplnující výpočty měření – VZOREK 5 – Tercie	89
Tabulka 32 Výstupní hodnoty výpočtů	89
Tabulka 33 Výsledné hodnoty tepelné vodivosti a tepelného odporu	93
Tabulka 34 Doplnující výpočet tepelného odporu	95

SEZNAM ROVNIC

- (1) Definice Celsiovy teploty
- (2) Vyjádření vztahu Fehrenheitovy stupnice
- (3) Tepelná kapacita
- (4) Měření tepla – dodané teplo
- (5) Střední měrná tepelná kapacita
- (6) Vyjádření množství látek (mol)
- (7) Vyjádření množství látek (mol)
- (8) Převodní vztah jednotek tepla
- (9) Tepelný tok
- (10) Plošná hustota tepelného toku
- (11) Plošná hustota tepelného toku – vektorově
- (12) Fourierův zákon
- (13) Prostup tepla
- (14) Teplotní vodivost
- (15) Tepelná jímavost
- (16) Tepelný odpor
- (17) Tepelná odolnost – Togmeter
- (18) Tepelný odpor – Togmeter
- (19) Tepelný odpor - dvoudesková metoda – Togmeter
- (20) Tepelný odpor - dvoudesková metoda – Togmeter
- (21) Tepelný odpor - jednodesková metoda – Togmeter
- (22) Tepelný odpor - jednodesková metoda – Togmeter
- (23) Měření tepelného toku – FOX
- (24) Teplotní tok – FOX
- (25) Výpočet tepelné vodivosti v průběhu testu – FOX
- (26) Měrná tepelná vodivost – Tci

- (27) Nepřímá tepelná vodivost – T_{ci}
- (28) Měrná tepelná kapacita – T_{ci}
- (29) Hloubka průniku tepla – T_{ci}
- (30) Tepelný odpor – T_{ci}
- (31) Rovnice tepelné rovnováhy
- (32) Množství ztráty tepla sáláním
- (33) Množství odvedeného tepla
- (34) Množství ztráty tepla prouděním
- (35) Odparné teplo
- (36) Odparné teplo
- (37) Tepelné ztráty dýcháním
- (38) Množství prošlých vodních par textilií
- (39) Hodnota tepelného spádu